

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

Pierre BARBADE

*Ingénieur Diplômé de l'Institut d'Electrotechnique et de Mécanique
de Nancy
Licencié ès-Sciences*

1° THÈSE. — **Contribution à l'Etude et à la Mesure des
Qualités mécaniques des Pâtes de Farine, en
vue de leur aptitude à la Panification.**

2° THÈSE. — **Propositions données par la Faculté.**

Soutenues le 6 Février 1934 devant la Commission d'examen.

MM. L. BLARINGHEM *Président.*

M. JAVILLIER. *Examineurs.*

E. DARMOIS —

VANNES

LAFOLYE & J. DE LAMARZELLE. ÉDITEURS

—
1934

CONTRIBUTION. A L'ÉTUDE ET A LA MESURE
DES
QUALITÉS MÉCANIQUES DES PATES DE FARINE
EN VUE DE LEUR APTITUDE A LA PANIFICATION

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

Pierre BARBADE

*Ingénieur Diplômé de l'Institut d'Electrotechnique et de Mécanique
de Nancy
Licencié ès-Sciences*

1° THÈSE. — **Contribution à l'Etude et à la Mesure des
Qualités mécaniques des Pâtes de Farine, en
vue de leur aptitude à la Panification.**

2° THÈSE. — **Propositions données par la Faculté.**

Soutenues le 6 Février 1934 devant la Commission d'examen.

MM. L. BLARINGHEM	<i>Président.</i>
M. JAVILLIER.	<i>Examineurs.</i>
E. DARMOIS	—

VANNES

LAFOLYE & J. DE LAMARZELLE. ÉDITEURS

1934

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen honoraire. . . . M. MOLLIARD.
Doyen C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.

<i>Professeurs honoraires</i>	{	H. LE CHATELIER	LÉON BRILLOUIN.
		H. LEBESGUE.	GOURSAT.
		A. FERNBACH.	WALLERANT.
		A. LEDUC.	GUILLET.
		Émile PICARD.	PECHARD.
		Rémy PERRIER.	FREUNDLER.

PROFESSEURS

P. JANET T	Électrotechnique gé- nérale.	Eugène BLOCH . . . T	Physique théorique et physique céleste.
G. BERTRAND T	Chimie biologique.	G. BRUHAT	Physique.
M ^{me} P. CURIE T	Physique générale.	E. DARMOIS	Physique.
M. CAULLERY T	Zoologie (Évolution des êtres organi- sés).	A. DEBIERNE	Radioactivité.
G. URBAIN T	Chimie générale.	A. DUFOUR T	Physique (P. C. N.).
Émile BOREL T	Calcul des probabi- lités et Physique mathém.	L. DUNOYER	Optique appliquée.
L. MARCHIS T	Aviation.	A. GUILLIERMOND . . T	Botanique (P. C. N.).
Jean PERRIN T	Chimie physique.	M. JAVILLIER	Chimie biologique.
H. ABRAHAM T	Physique.	J. JOLEAUD	Paléontologie.
E. CARTAN T	Géométrie supérieure	ROBERT-LÉVY	Zoologie.
M. MOLLIARD T	Physiologie végétale.	H. MOUTON	Chimie physique.
L. LAPICQUE T	Physiologie générale.	F. PICARD	Zoologie (Évolution des êtres organisés).
E. VESSIOT T	Théorie des fonctions et théorie des trans- formations.	Henri VILLAT T	Mécanique des fluides et applications.
A. COTTON T	Physique.	Ch. JACOB T	Géologie.
J. DRACH T	Analyse supérieure.	P. PASCAL T	Chimie minérale.
Charles FABRY . . . T	Physique.	M. FRÉCHET T	Calcul des Probabili- tés et Physique ma- thématique.
Charles PÉREZ . . . T	Zoologie.	E. ESCLANGON T	Astronomie.
Léon BERTRAND . . . T	Géologie structurale et géologie appli- quée.	M ^{me} RAMART-LUCAS . .	Chimie organique.
É. BLAISE T	Chimie organique.	H. BÉGHIN T	Mécanique physique et expérimentale.
R. LESPIEAU T	Théories chimiques.	Foch	Mécanique expéri- mentale des fluides.
P. PORTIER T	Physiologie compa- rée.	PAUTHENIER	Physique (P. C. N.).
E. RABAUD T	Biologie expérimen- tale.	De BROGLIE T	Théories physiques.
P.-A. DANGEARD . . T	Botanique.	CHRÉTIEN	Optique appliquée.
V. AUGER T	Chimie appliquée.	P. JOB	Chimie générale.
M. GUICHARD	Chimie minérale.	LABROUSTE	Physique du Globe.
Paul MONTEL T	Mécanique rationnelle	PRENANT	Zoologie.
P. WINTREBERT . . . T	Anatomie et histolo- gie comparées.	VILLEY	Mécanique physique et expérimentale.
L. BLARINGHEM . . . T	Botanique.	BOHN	Zoologie (P. C. N.).
O. DUBOSQ T	Biologie maritime.	COMBES	Sciences naturelles (P. C. N.).
G. JULIA T	Mécanique analytique	GARNIER	Mécanique ration- nelle.
C. MAUGUIN T	Minéralogie.	PÈRES	Mécanique des fluides.
A. MICHEL-LÉVY . . .	Pétrographie.	HACKSPILL	Chimie (P. C. N.).
H. BÉNARD T	Mécanique expérim. des fluides.	LAUGIER	Physiologie générale.
A. DENJOY T	Calcul différentiel. calcul intégral.	TOUSSAINT	Technique Aéronau- tique.
L. LUTAUD T	Géographie physique et géologie dyna- mique.	M. CURIE	Physique (P. C. N.).
		G. RIBAUD T	Hautes températures.
		CHAZY	Mathématiques.
		GAULT	Chimie (P. C. N.).
		CROZE	Physique.
		DUPONT	Chimie (P. C. N.).

Secrétaire. A. PACAUD.
Secrétaire honoraire D. TOMBECK.



Je dédie cette thèse :

A M. le PROFESSEUR BLARINGHEM

Membre de l'Institut.

qui a bien voulu me faire l'honneur d'accepter
la Présidence du Jury.

A M. le PROFESSEUR JAVILLIER

qui a bien voulu s'intéresser à ce travail dès son début
et qui, par ses précieuses directives,
m'a permis de le mener à bonne fin.

A M. le PROFESSEUR DARMOIS

en souvenir des études que j'ai faites
à la Faculté des Sciences de Nancy.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INTRODUCTION

LA FARINE ET LA PÂTE DE FARINE DU POINT DE VUE PHYSIQUE ET PHYSICO-CHIMIQUE

Constitution de la pâte de farine. — La pâte de farine, composée, dans le cas le plus simple, de grains de farine pétris avec de l'eau, est un polydispersoïde colloïdal d'une extrême complexité.

Le grain de farine provient, en effet, de la fragmentation de l'amande du grain de blé, les fragments étant composés d'une ou plusieurs cellules de l'endosperme du grain.

Ces cellules sont formées histologiquement d'une enveloppe cellulosique imprégnée de matière azotée, remplie d'un réseau protéique dans lequel sont enchâssés les grains d'amidon.

La masse protéique, à son tour, est formée par l'agglomération de granules vraisemblablement de familles chimiques voisines, mais ayant chacun une composition et une structure particulière, en un mot nettement différents au point de vue physico-chimique.

Ces granules sont à l'état de gels très deshydratés, contenant 15 % d'eau environ, sans structure définie.

Enfin, des molécules de matières très diverses, notamment de matières grasses sucrées et minérales, imprègnent le tout.

La sève élaborée apporte les éléments qui viennent s'accumuler dans le grain en formation sous forme de granules dispersés, c'est-à-dire sous forme de sol.

Pendant la maturation, par deshydratation, le sol rétrograde à l'état de gelée, puis les granules s'agglomérant par coagulation, la deshydratation s'accroît, le sol devient un gel.

Suivant l'espèce du blé, les conditions de maturation, cette gélification s'effectue sous des formes très différentes.

La condensation de certains éléments peut prédominer sur celle de certains autres ; elle peut être plus ou moins avancée (blés tendres ou blés durs).

Les transformations peuvent évoluer différemment dans un même grain, suivant ses régions (blé mitadiné).

La plupart de ces condensations sont irréversibles, du moins pour certains éléments (amylopectine de l'amidon).

Pour les granules protéiques, en hydratant à nouveau la farine, on parvient, dans une certaine mesure, à leur redonner l'état de gelée.

Au cours du pétrissage, en effet, chacun des grains de farine se recouvre d'un film d'eau qui pénètre peu à peu chacun de ces éléments colloïdaux hétérogènes. Les phénomènes d'adsorption et surtout de gonflement et de solvatisation interviennent, les gels deviennent des gelées.

Dans ces conditions, les granules de protéine des différents grains de farine s'enchaînent et forment un réseau élastique protéique complexe enserrant les grains d'amidon.

La pâte se compose donc ainsi d'au moins deux phases continues, l'eau et le réseau protéique.

C'est ce réseau protéique qui, isolé par lixiviation, constituera le « gluten » extrait de la pâte.

Mais ce gluten extrait aura perdu une certaine quantité de composés solubles ou dispersables ; il ne sera plus qu'approximativement semblable au réseau protéique de la pâte.

Avec le temps, la dissolution de l'eau dans les colloïdes s'accroît. Les substances minérales ou autres, dispersées moléculairement dans la masse, viennent en contact avec d'autres éléments, provoquant, par échange de molécules, des variations dans la longueur des chaînes micellaires. La pâte est ainsi le siège de modifications incessantes entraînant une évolution continue de ses qualités plastiques.

Tout ceci se complique encore dans la pratique par le fait

que l'eau employée est loin d'être pure, qu'elle contient du sel, du sucre, des corps gras, des cellules de levure.

C'est en conséquence, en considérant tous ces phénomènes sous leur aspect colloïdal et grâce à la lumière de la physico-chimie, que nous avons entrepris d'étudier le comportement des pâtes de farine, notamment en ce qui concerne leurs qualités de résistance mécanique qui jouent, en panification, un rôle essentiel.

Voyons donc en quoi consistent ces qualités et de quoi elles dépendent.

Propriétés plastiques résultant de la nature colloïdale des pâtes. — Quand la farine est mélangée avec une proportion d'eau convenable, c'est-à-dire voisine de 50 %, les grains n'adhèrent, tout d'abord, l'un à l'autre que sous la seule action des forces capillaires dues au film liquide qui les recouvre.

Si la quantité d'eau était trop importante, égale par exemple au poids de la farine, les grains de farine seraient séparés par une trop grande quantité de liquide pour que les forces capillaires puissent s'exercer; on n'obtiendrait qu'une suspension grossière.

Il faudrait, pour provoquer une masse adhérente, ramener les grains en contact, par centrifugation par exemple.

Si, au contraire, la quantité d'eau était trop faible, voisine de 25 % par exemple, les phénomènes de gonflement des grains de farine ne pourraient se produire qu'imparfaitement en surface seulement, les phénomènes de solvatisation seraient moins marqués, nous obtiendrions une pâte dépourvue de plasticité.

Chaque grain de farine comportant des cellules d'endosperme plus ou moins lésées au cours de la mouture, l'eau pénétrant leur réseau protéique est dissoute par les granules qui le composent. Il y a ainsi, comme nous l'avons vu, gonflement progressif, formation d'une gelée, création de liaisons entre les gelées de grains de farine voisins provoquant leur soudure.

Sous l'influence du temps et des efforts de pétrissage, les cellules intactes sont déchirées à leur tour, leur réseau

protéique est mis à nu et passe également à l'état de gelée, de nouvelles liaisons s'élaborent ; elles sont favorisées par les mouvements du pétrissage qui amènent successivement au contact, de nouvelles cellules.

De la même façon, mais plus lentement, l'eau pénètre les autres composés colloïdaux, amidon, cellulose de la cellule. Par suite de leur gonflement moins important, leur pouvoir adhésif est négligeable vis-à-vis de celui du gluten, ils font plutôt obstacle à la soudure des réseaux protéiques.

La liaison des éléments d'une pâte est finalement la résultante du nombre des éléments protéiques en contact et de la solidité de leur liaison. C'est ce qui constitue la « force » de la pâte.

L'expérience montre que, pour une espèce de blé déterminée, la qualité des liaisons due à la nature des protéines, à leur faculté de gonflement, l'emporte presque toujours sur la quantité des liaisons.

Autrement dit, pour un même blé, une farine contenant un pourcentage faible de gluten de bonne qualité liante, donnera une pâte plus tenace que celle provenant d'une farine contenant, en grande quantité, un gluten plus lâche (1).

Chacun des éléments composant la pâte possède spécifiquement une certaine rigidité, c'est-à-dire la faculté de résister élastiquement aux forces tendant à le déformer. Le gonflement entraîne un relâchement dans la structure des éléments, par leur division en chaînes de molécules (micelles) restant enchevêtrées entre elles, mais jouissant, l'une par rapport à l'autre, d'un certain degré de liberté.

La plasticité, c'est-à-dire la faculté de changer de forme d'une façon définitive, sous l'influence de forces extérieures, est due à cette possibilité de glissement des chaînes moléculaires les unes par rapport aux autres.

Finalement, la pâte, à la fois élastique et plastique, participe ainsi du solide et du liquide. C'est l'existence simultanée de ces qualités mécaniques contradictoires qui permet

(1) Ceci, bien entendu, à la condition que le pourcentage de gluten ne soit pas inférieur à un certain minimum.

de l'amener dans l'état voulu pour se prêter au procès de la panification.

Qualités de résistance mécanique auxquelles doit satisfaire la pâte en vue de la panification. — Il est admis que le plus beau pain est celui qui est le plus « léger » pour un même volume, c'est-à-dire celui dont le développement est maximum, par suite de la division régulière de sa masse en innombrables alvéoles (1).

Ce pain le moins dense est, en effet, le plus digestible, en raison de l'extrême division de sa substance.

Il conviendra, également, que ce pain de volume maximum ne soit pas affaissé sur lui-même et que son applatissement, c'est-à-dire le rapport de sa hauteur à sa base, ne soit pas inférieur à une certaine proportion. Un pain trop aplati, en effet, outre qu'il est d'une mauvaise présentation, provient d'une pâte trop molle, par conséquent difficile à travailler.

Le « beau pain » sera donc, dans le cas qui nous occupe, celui qui, les conditions de bonne fermentation étant remplies, présentera, à poids de pâte constant, avec l'alvéolage le plus régulier, le volume le plus élevé possible pour une surface aussi réduite que possible.

De bonnes qualités plastiques ne suffiraient pas, à elles seules, à donner un « beau pain ».

Il faut aussi que la fermentation puisse se développer dans la pâte, de façon à produire le volume de gaz nécessaire à son gonflement. Il faut encore que la pâte soit peu perméable, de façon à retenir une grande partie des gaz ainsi formés.

Enfin, pour que le « beau pain » soit aussi un « bon pain », il doit avoir une saveur agréable, résultant surtout du choix des blés, du taux d'extraction, du genre de fermentation.

Un pain parfait résultera donc d'une pâte réunissant simultanément les conditions indispensables suivantes : Bonne plasticité — Pouvoir fermentescible suffisant — Faible perméabilité.

(1) Il faut, en effet, que l'alvéolage de la mie soit en même temps fin et régulier. Un pain ayant une mie, creusée de grandes alvéoles, voisinant avec des parties compactes, pourrait présenter un grand volume extérieur et ne serait pas un « beau pain ».

Nous nous limiterons à l'étude des premières conditions, c'est-à-dire des conditions plastiques.

Une grande plasticité est la qualité dominante, car elle conduit à l'obtention de lames de pâte minces et homogènes faiblement perméables.

Des travaux de Loeb, il semble résulter que les sucres préexistants, aussi bien que les hydrates de carbone susceptibles de se transformer en sucres sous l'action diastasique, existent toujours en quantité suffisante dans les farines résultant des mélanges industriels de blés.

La production de gaz en quantité suffisante est donc généralement assurée sous la réserve d'une activité suffisante de la levure employée. Seule varie, suivant la qualité de la farine, l'évolution de cette production gazeuse avec le temps.

D'un autre côté, les liaisons de la pâte ne se forment que progressivement et évoluent, elles aussi, en fonction du temps, suivant l'état de gonflement et de dépolymérisation des éléments farineux.

Il est donc très important que l'évolution gazeuse et l'évolution plastique se fassent harmonieusement, d'une manière telle qu'au moment où la plasticité optima est atteinte, la production gazeuse soit suffisante.

Comme il faut, en premier lieu, que le pâton puisse se gonfler facilement sous l'action des gaz de la fermentation, il doit donc, à ce point de vue, posséder une faculté d'allongement aussi grande que possible et une résistance élastique faible, permettant à la pâte de s'allonger sans se rompre, de façon à former de fines membranes, et cela sous l'effort le plus réduit possible.

Mais il ne faut pas, d'autre part, que les membranes composant le pâton, dès qu'un certain degré de gonflement est atteint, s'allongent sous le seul effort des tensions internes résultant du poids du pâton lui-même. Nous aurions alors un pain aplati (1).

(1) Les conditions que nous envisageons ici sont celles relatives à la fabrication du pain français, c'est-à-dire au procédé dans lequel le pâton subit la deuxième fermentation et la cuisson, en reposant sur sa base, sans être maintenu dans un récipient,

La pâte doit donc être élastique en même temps que plastique.

On peut penser dans ces conditions que la pâte idéale est celle qui oppose, sous un effort croissant, une résistance élastique également croissante, de façon à ce qu'un gonflement suffisant étant atteint, il y ait ensuite équilibre stable entre l'effort d'extension et la résistance des membranes.

Représentation graphique des qualités plastiques.

— Si l'on représente graphiquement cette loi de résistance d'une lame de pâte en fonction de l'allongement, l'idéal serait d'avoir une courbe traduisant une résistance croissant plus vite que l'allongement, c'est-à-dire concave vers le haut, ou tout au moins croissant proportionnellement à l'allongement.

L'expérience nous montre qu'il n'en est pas ainsi pour les pâtes. Les courbes de résistance ne présentent, même à leur début, pas de partie concave.

La branche montante fait à l'origine, avec l'axe des abscisses, un angle variable. Cette branche convexe présente une ordonnée maxima, s'infléchit et devient descendante. Pour un certain allongement se produit la rupture.

Si l'angle de la branche montante avec l'axe des abscisses est grand, c'est que la pâte est résistante, elle est dite « ferme ». Si, au contraire, la courbe s'écarte peu de l'horizontale, la pâte est « molle ».

Les courbes situées au-dessus de ce graphique idéal, correspondront à des pâtes très fermes qui seront d'excellente qualité, si leur gonflement est suffisant. Les courbes se plaçant au-dessous correspondront à des pâtes pouvant être susceptibles d'un grand allongement, mais s'aplatissant sous leur propre poids « manquant de corps ».

Remarquons que la branche descendante de la courbe correspond à un état pour lequel la résistance diminue en même temps que l'allongement augmente. L'équilibre est alors instable, les pâtes s'aplatiront spontanément sous les influences les plus faibles.

C'est donc la distance à l'origine du pied de l'ordonnée

maxima qui correspondra à l'allongement « stable » de la pâte, donnant une indication sur la marge de fermentation.

La fig. I reproduit des graphiques types.

La courbe I correspond à une pâte de qualité normale.

La courbe II correspond à une pâte ferme qui sera excellente, si le point de rupture est en a, courte si le point de rupture est en b.

La courbe III correspond à une pâte molle qui sera particulièrement médiocre, si l'éclatement se produit en b'.

L'axe OX avec lequel se confond au départ la branche montante du graphique représentatif d'une pâte normale partagera donc le plan du graphique en une zone de pâtes fermes et une zone de pâtes molles.

De même l'axe YZ limitera la zone des pâtes courtes.

En définitive, les caractéristiques d'une courbe représentative des qualités plastiques d'une pâte seront définies par :

1° La hauteur de l'ordonnée maxima H.

2° La distance à l'origine A du pied de l'ordonnée maxima.

3° La distance au pied de l'ordonnée maxima du point d'éclatement.

4° L'ordonnée du point d'éclatement.

Les deux premières caractéristiques étant les plus importantes.

CHAPITRE I

MESURE DES QUALITÉS PLASTIQUES DE LA PÂTE

Essais par traction, par emboutissage. — Essais par gonflement. Extensimètre Chopin, Aleurographe. — Différences dans le fonctionnement des différents appareils procédant par gonflement. — Essais par mesure de la force nécessaire au pétrissage, Farinographe Brabender. — Influence des caractéristiques des appareils et des dimensions des éprouvettes sur l'allure des graphiques. — Maturation de la pâte. — Hydratation de la pâte destinée au prélèvement des éprouvettes de mesure. — Eprouvettes confectionnées avec une quantité d'eau constante. — Eprouvettes présentant une ténacité constante. — Mode opératoire pour la confection des éprouvettes destinées aux essais à l'Aleurographe. — Examen des éprouvettes après essais.

Voyons, maintenant, quels sont les procédés de mesure des qualités plastiques des pâtes ou de leurs éléments composants.

La qualité la plus importante pour une pâte étant un grand pouvoir d'allongement, allié à une résistance élastique suffisante, l'essai de traction tel qu'il se pratique pour d'autres matériaux, et en particulier pour les métaux, semblait pouvoir donner d'utiles indications.

Essais par traction et emboutissage. — C'est ce que pensa le premier Kosutany (1907) qui essayait à la traction une éprouvette (1) de pâte de 50 mm. de long sur* un appareil traçant le diagramme d'allongement en fonction de l'effort de traction.

(1) Nous désignons, par éprouvette, un échantillon homogène de dimensions parfaitement déterminées de la pâte à essayer.

Kosutany estimait que l'élasticité d'une pâte résultait de la compression des petites bulles gazeuses incluses entre les granules composants. Les pâtes de farine seraient élastiques parce que, grâce au gluten, les parois de ces bulles seraient imperméables et resteraient gonflées d'air, qu'elles que soient les déformations subies.

La difficulté de manier, sans déformation, des éprouvettes peu résistantes semble avoir amené assez rapidement Kosutany à remplacer l'essai à la traction par un essai d'estampage se pratiquant sur des rondelles de pâte à 50 % d'eau, de 20 mm d'épaisseur, avec un poinçon de 20 mm de diamètre, au moyen d'une machine construite par Retjö. Il obtenait ainsi, graphiquement, la loi liant l'effort à la profondeur de la déformation.

C'était, en somme, un essai d'estampage tel qu'on le pratique pour l'épreuve des tôles.

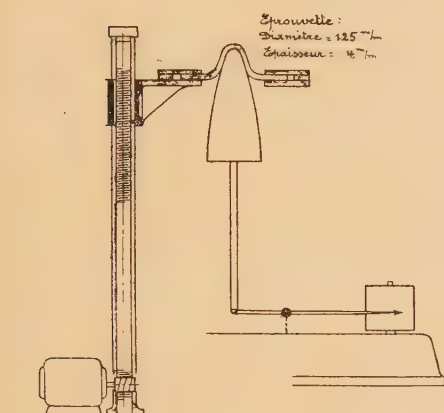
Le « Comparator » de Bühler (1924) (Gebrüder Bühler Uzvill, Suisse) (fig. 2) procède aussi par déformation, sous la pression d'un poinçon, d'un disque de pâte, à 50 % d'eau de : 125 mm de diamètre $\times$ 4 mm d'épaisseur. Les résistances de frottement, particulièrement élevées dans le cas d'une matière de grande plasticité qui s'applique étroitement sur le poinçon, comme c'est le cas pour la pâte de farine, sont peut-être susceptibles d'influencer les résultats.

Le pénétromètre de Reinders et Van der Lee (*Kent Jones-Modern Cereal Chemistry*, 1927, p. 145), permet de suivre l'enfoncement progressif, en fonction du temps, d'un plongeur, d'un poids déterminé, dans un récipient rempli d'une pâte très claire de la farine à essayer. Cet instrument s'apparente plutôt aux viscosimètres.

Essais par gonflement. — D'autres chercheurs se sont placés dans des conditions aussi voisines que possible de celles dans lesquelles la pâte est appelée à faire montre de ses qualités et ont réalisé des appareils spécialement adaptés à la pâte de farine ou au gluten extrait de cette pâte.

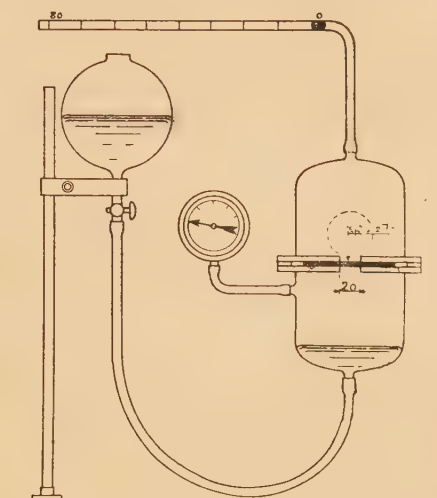
La matière à essayer, façonnée en une éprouvette de dimensions déterminées, est gonflée par un fluide, généralement de

— "Comparator" Buhler —



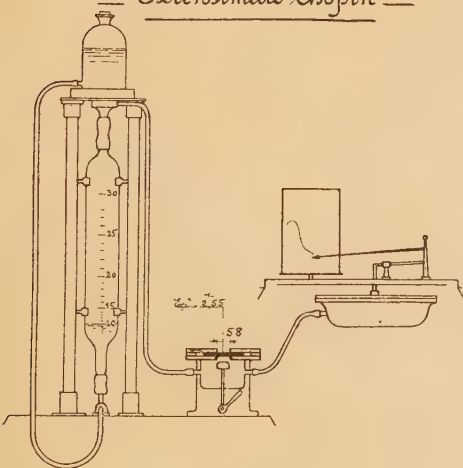
— Fig. 2 —

— Appareil de Hankoczy —



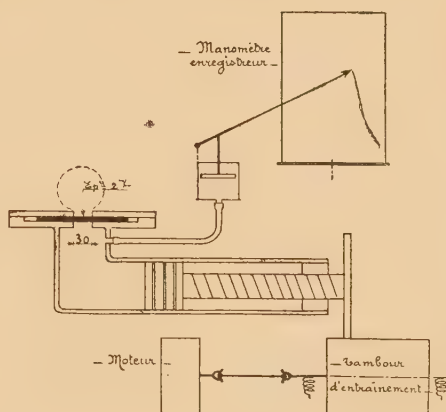
— Fig. 3 —

— "Extensimètre" Chopin —



— Fig. 4 —

— Aleurographe —



— Fig. 5 —

l'air, dans les mêmes conditions que la pâte par les gaz de la fermentation.

Le gonflement peut être obtenu, soit par développement d'une quantité de petites alvéoles dans la masse de pâte, soit par formation, en partant d'une éprouvette lamellaire, d'une bulle isolée de grandes dimensions.

Le très ancien appareil de Boland était du premier type. Un poids déterminé de gluten était chauffé à 150° dans un cylindre calibré. La vaporisation des films d'eau retenus dans le réseau gluténique développait le gluten dans un moule cylindrique, sous forme d'une masse alvéolée. On estimait que la qualité de la farine était en proportion de la longueur du cylindre coagulé obtenu.

C'est à Hankoczy (*Kosutany-Der Ungarische Weizen und das ungarische Mehl*, 1907), que revient le mérite d'avoir créé le premier appareil formant une bulle isolée, à caractéristiques de gonflement aisément mesurables, point de départ des appareils utilisés dans l'industrie moderne.

Hankoczy développait, au moyen d'une pression d'air, une lame calibrée de gluten humide de 20 mm. de diamètre $\times$ 2 mm. d'épaisseur (fig. 3).

Il formait ainsi une bulle pouvant atteindre 50 mm. de diamètre environ. Il mesurait, d'une part, le volume maximum de la bulle avant éclatement, d'autre part la pression maximum atteinte pendant le gonflement.

La pression était produite par l'écoulement d'une masse de mercure, chassant progressivement l'air contenu dans une capacité inférieure.

La bulle se développait dans une capacité supérieure de mêmes dimensions. L'air déplacé par la bulle refoulait dans un tube de verre horizontal une goutte de mercure dont la position limite correspondait au volume maximum atteint par la bulle.

La pression était mesurée par un manomètre. Elle pouvait atteindre 5 cm de mercure.

Il n'y avait pas d'enregistrement graphique, l'opérateur se contentait de noter le volume d'éclatement et la pression maximum de gonflement. Ces caractéristiques isolées sont loin

de donner des résultats aussi féconds que ceux déduits de l'allure d'une courbe. De fait, malgré ses nombreuses séries d'essais, les résultats laissés par Hankoczy ne présentent qu'un intérêt documentaire.

Il appartenait à Chopin de réaliser, en 1921, après de patientes recherches (*Chopin ; Relation entre les propriétés mécaniques des pâtes de farine et la panification. Compte rendu, Académie Sciences, tome 172, p. 450, 212 février 1921*), le premier appareil dénommé « Extensimètre » (fig. 4) qui ait donné des résultats industriels utilisables et dont les indications vérifiées au cours des années se soient montrées concordantes dans la majorité des cas, avec les résultats de la panification. A noter que lorsque Chopin a créé son extensimètre, il ignorait l'appareil de Hankoczy.

L'éprouvette de pâte pétrie avec 50 % d'eau salée, a 58 mm. de diamètre $\times$ 2 mm. 55 d'épaisseur ; elle est gonflée par l'écoulement d'un volume d'eau comprimant de l'air sous l'éprouvette. Un manomètre enregistreur trace la courbe représentative de la loi de variation de la pression à l'intérieur de la bulle en fonction du déroulement du tambour de l'enregistreur.

Une abaque, préalablement établie, permet de référer le déroulement du tambour à l'écoulement de l'eau, c'est-à-dire finalement au volume d'air insufflé qui atteint 625 cmc en 23 secondes.

La pression maxima donnée par le diagramme correspond à la « tenacité » de la pâte, c'est-à-dire à sa résistance à l'extension. Cette résistance diminuant au fur et à mesure que la pâte contient plus d'eau, une forte tenacité caractérise une farine susceptible d'absorber une forte quantité d'eau, tout en conservant une résistance mécanique suffisante.

Le volume de la bulle est fonction du volume d'air refoulé, compte tenu de la pression de refoulement. Chopin estimant que le volume du pain provenant d'une pâte est sensiblement proportionnel à la racine carrée de ce volume d'air refoulé, a introduit la notion de l'indice de gonflement $G = \sqrt{\text{nombre de Cm}^3}$ d'air refoulé, c'est-à-dire le coefficient d'aptitude d'une farine à donner un pain d'un certain volume.

Comme nous l'avons vu au début de cette étude, il convient.

d'avoir une certaine relation entre la tenacité et l'élasticité pour obtenir en fin de fermentation un pàton de volume tendant vers un maximum sous une surface minima. Chopin a chiffré cette relation en ajoutant aux deux caractéristiques précédentes le W, c'est-à-dire un coefficient proportionnel à la surface inscrite dans le diagramme.

La valeur de cette surface est donnée par l'intégration des bandes verticales élémentaires (tenacité $P \times d$ G gonflement) qui la forment. Il en résulte qu'un W faible traduit l'insuffisance de l'un des facteurs, soit la tenacité P, soit l'élasticité G, dont le produit correspond au W.

Théoriquement, le W ne peut suffire, à lui seul, à déterminer une farine comme les deux caractéristiques P et G ; cependant, d'après Chopin, l'expérience montre que, dans les farines industrielles, les valeurs de P et de G restent dans des limites telles qu'une valeur acceptable de W correspond toujours pratiquement à des farines panifiables moyennes.

Le W est, à un coefficient variable près, la surface du graphique en cm carrés divisée par le poids en gr. de la partie déformée de l'éprouvette. Ceci pour ramener le travail de déformation à l'unité de poids de pâte.

En 1930, Pisani-Borg créa le « Distensigraphe » (Pisani-Borg. Communication au 37^e Congrès de la Meunerie Française, janvier 1931). La lame de pâte gonflée, comme précédemment, par refoulement d'air, forme une bulle qui se développe dans une capacité close. Un manomètre enregistreur à 2 indicateurs inscrit, sur le même graphique, d'une part la pression intérieure à la bulle de gonflement, d'autre part la pression de l'air refoulé par la bulle, pression proportionnelle au volume de cette bulle.

La pression extérieure à la bulle se maintient à 0, tant que la pression intérieure n'a pas acquis la pression initiale susceptible de commencer à déformer la lame. Pisani-Borg a introduit, sous le nom de « fermeté », une nouvelle caractéristique qui est la pression intérieure maxima correspondant à une déformation nulle, c'est-à-dire équilibrée par la résistance de la lame de pâte.

La bulle allant s'amincissant au fur et à mesure qu'elle se

développe, la résistance propre diminue et l'écart entre les 2 courbes va en diminuant aussi. Elles se rencontrent, soit par un rapprochement insensible, correspondant à des lames de pâte susceptible de s'amincir indéfiniment et de devenir perméables par osmose, soit brusquement, ce qui correspond à des lames cassantes, cédant sous une épaisseur encore appréciable.

Dans l'Aleurographe que nous avons créé en 1928 (fig. 5 et 5 bis), un piston, s'enfonçant d'un mouvement continu dans un cylindre, comprime, soit de l'air, soit de l'eau, sous une lame de pâte ou de gluten de 30×2 m/m.

Le tambour d'un manomètre enregistreur est relié à la tige du piston, de façon à tourner proportionnellement à l'avancement de ce dernier. Le manomètre enregistre, d'autre part, la pression de fluide comprimé dans le cylindre.

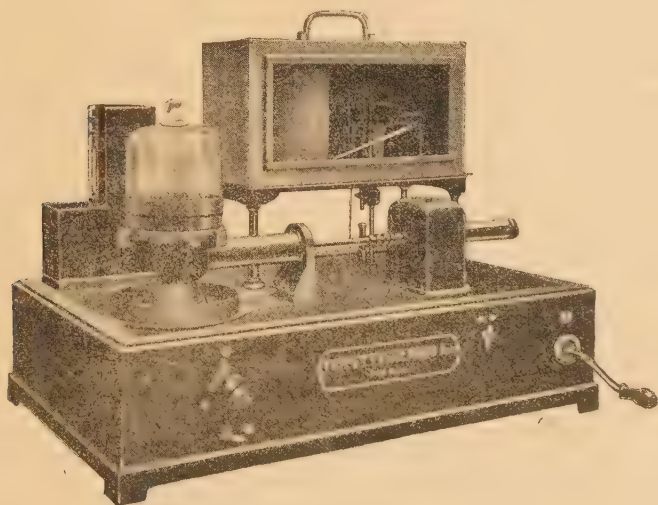


FIG. 5 bis.

Il en résulte que les ordonnées du graphique donnent les pressions de gonflement, tandis que les abscisses donnent le volume exact de la bulle, si le cylindre est rempli par un liquide incompressible comme de l'eau. Si l'on utilise de l'air, on retombe dans les conditions de fonctionnement des appareils précédents, le volume de la bulle et les abscisses du graphique

sont fonction l'une de l'autre, suivant une relation dans laquelle intervient la pression de gonflement.

Dans les groupes d'appareils de mesure précédents, on procède sur chaque échantillon de pâte ou de gluten à plusieurs essais successifs, de façon à éliminer les résultats erronés pouvant résulter d'une éprouvette présentant une irrégularité.

L'expérience montre que pour l'Aleurographe la régularité des résultats obtenus est très satisfaisante et que les graphiques de plusieurs essais successifs se superposent suffisamment.

Différences dans le fonctionnement des différents appareils procédant par gonflement. — A l'examen, on remarque que le principe de fonctionnement de tous les appareils à gonflement que nous venons de décrire n'est pas identique.

Dans un premier groupe : appareils d'Hankoczy, de Chopin, de Pisani-Borg, le gonflement est assuré par de l'air comprimé sous l'influence d'une colonne de liquide, sous une pression limitée.

Dans l'Aleurographe, la pression créée par le mouvement d'un piston croît progressivement sans limitation.

Il en résulte que, pour les appareils du premier groupe, si la pression limite ne dépasse pas un certain maximum, la pâte ne subit en aucun cas, d'effort trop intense, susceptible de la déchirer. Elle ne se déforme que grâce à sa plasticité, par glissement des chaînes micellaires les unes sur les autres, l'éprouvette n'est jamais « forcée ».

Dans les appareils du genre de l'Aleurographe, si le coefficient de gonflement adopté est excessif, la pression monte trop rapidement pour être équilibrée par l'augmentation de volume résultant de la seule plasticité de la pâte. La matière ne peut céder que par ruptures internes.

Les caractéristiques des appareils à pression non limitée doivent donc être très soigneusement établies pour éviter qu'ils ne soient « brutaux ».

Les courbes représentatives diffèrent d'allure suivant qu'elles proviennent d'appareils du premier ou du deuxième groupe.

Pour les premiers, la pression est appliquée brusquement

sous l'éprouvette dès l'ouverture du robinet, d'où une courbe à branche montante presque verticale.

Avec les appareils à pression croissant progressivement, la montée de la courbe sera lente ; elle traduira ensuite, par un arrondi, le maximum de pression que la pâte est susceptible d'équilibrer, puis elle s'infléchira doucement.

Cette allure des graphiques du deuxième groupe, due au gonflement progressif de l'éprouvette, pourrait être évidemment réalisée dans les appareils du premier groupe, en ralentissant l'écoulement de l'eau.

Essais par mesure de la force absorbée par le pétrissage. — Dans un troisième groupe d'appareils, on mesure, d'une façon continue, les efforts de résistance opposés par une pâte composée avec la farine à essayer dans les conditions usuelles de pétrissage.

On peut ainsi suivre l'évolution graduelle de la plasticité d'une pâte, au lieu de ne procéder que par des essais distincts donnant des indications isolées dans le temps.

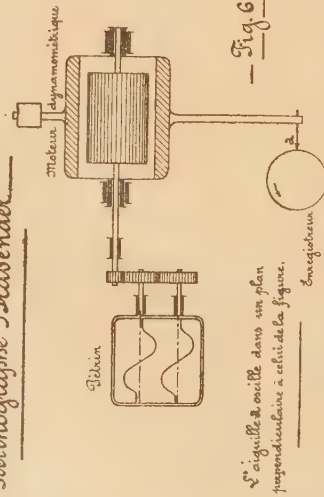
Le « Farinographe » de Brabender (*Brabender Elektromaschinen Duisburg Allemagne* (fig. 6) est constitué par un petit pétrin dont les bras pétrisseurs sont actionnés par un moteur dynamométrique donnant, à tout moment, le couple résistant opposé par la pâte au mouvement des bras. Du fait du mouvement de rotation des deux bras en sens inverse, il résulte qu'à chaque demi tour des fraseurs, la pâte, alternativement étirée et comprimée, oppose un couple résistant, périodiquement variable, oscillant autour d'une valeur moyenne.

La pâte est pétrie avec la quantité d'eau nécessaire pour lui donner, en fin de pétrissage, une consistance constante de l'ordre de celle adoptée dans la pratique boulangère.

Le couple s'inscrit sur un tambour enregistreur entraîné en fonction du temps par un mouvement électrique.

Sensiblement nul au début du pétrissage, le couple monte rapidement au fur et à mesure que s'effectue la liaison des grains de farine. Il acquiert ensuite une valeur moyenne constante qui, plus tard, va en s'abaissant.

Farinographe Brabender



L'aiguille oscille dans un plan perpendiculaire à celui de la figure.

Fig. 6

Sélin enregistreur de Swanson

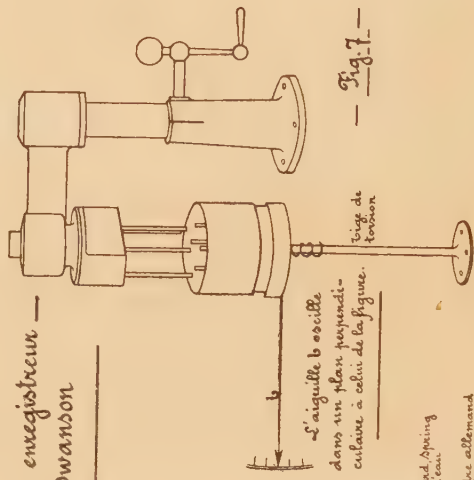


Fig. 7

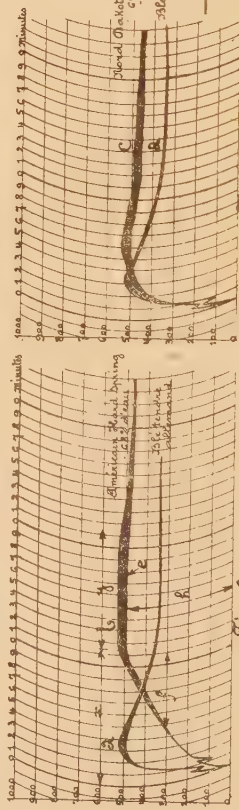


Fig. 6b

Fig. 6a

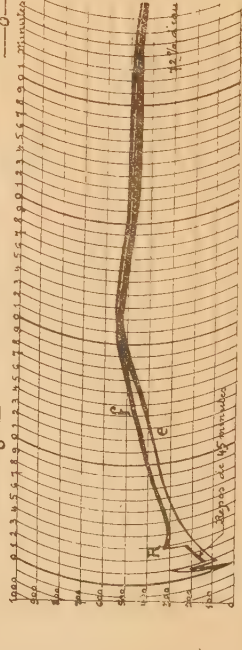


Fig. 6c

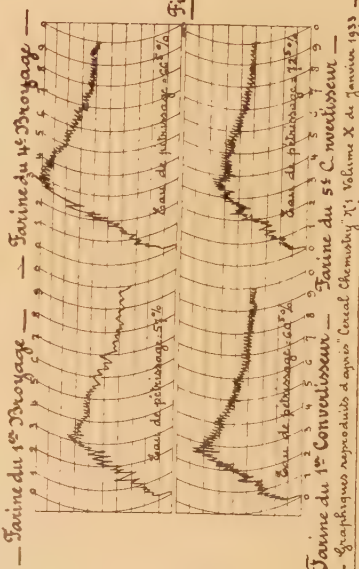


Fig. 7a

Graphiques reproduits d'après Multinobles

Farine du 1^{er} Convolueuseur — Farine du 5^e C. moulin —
Graphiques reproduits d'après Multinobles X^e Volume X de janvier 1933

Par suite de la variation périodique, à chaque tour, des efforts de pétrissage, la courbe représentant le couple est formée par une série de dentelures accolées, donnant l'impression d'une ligne plus ou moins épaisse.

Brabender distingue (fig. 6 *a*) :

— la période de développement x de la pâte, c'est-à-dire le temps nécessaire pour qu'elle acquière sa liaison optima. C'est cet état que nous étudierons plus loin sous le nom de « maturation » de la pâte.

— la période de stabilité y correspondant au temps pendant lequel la pâte conserve sa liaison optima, parmi les efforts mécaniques ou les actions de fermentation auxquels elle est soumise.

— l'ordonnée h correspond à la fermeté de la pâte, fermeté que l'expérimentateur, par une addition d'eau variable, amène à la graduation 500 reconnue comme correspondant à la fermeté constante désirable pour une bonne panification.

L'épaisseur e correspondant à la différence périodique entre le maximum et le minimum de l'effort de pétrissage, dépendrait principalement, selon Brabender, de l'élasticité de la pâte. Plus exactement, c'est la résistance élastique de la pâte qui semble être ainsi déterminée, pour de faibles allongements.

Cette épaisseur e diminue, en général, quand la courbe représentative commence à s'infléchir à la fin de la période y .

Enfin, Brabender note la distance f séparant le moment où l'élasticité commence à apparaître du point où elle a acquis sa pleine valeur.

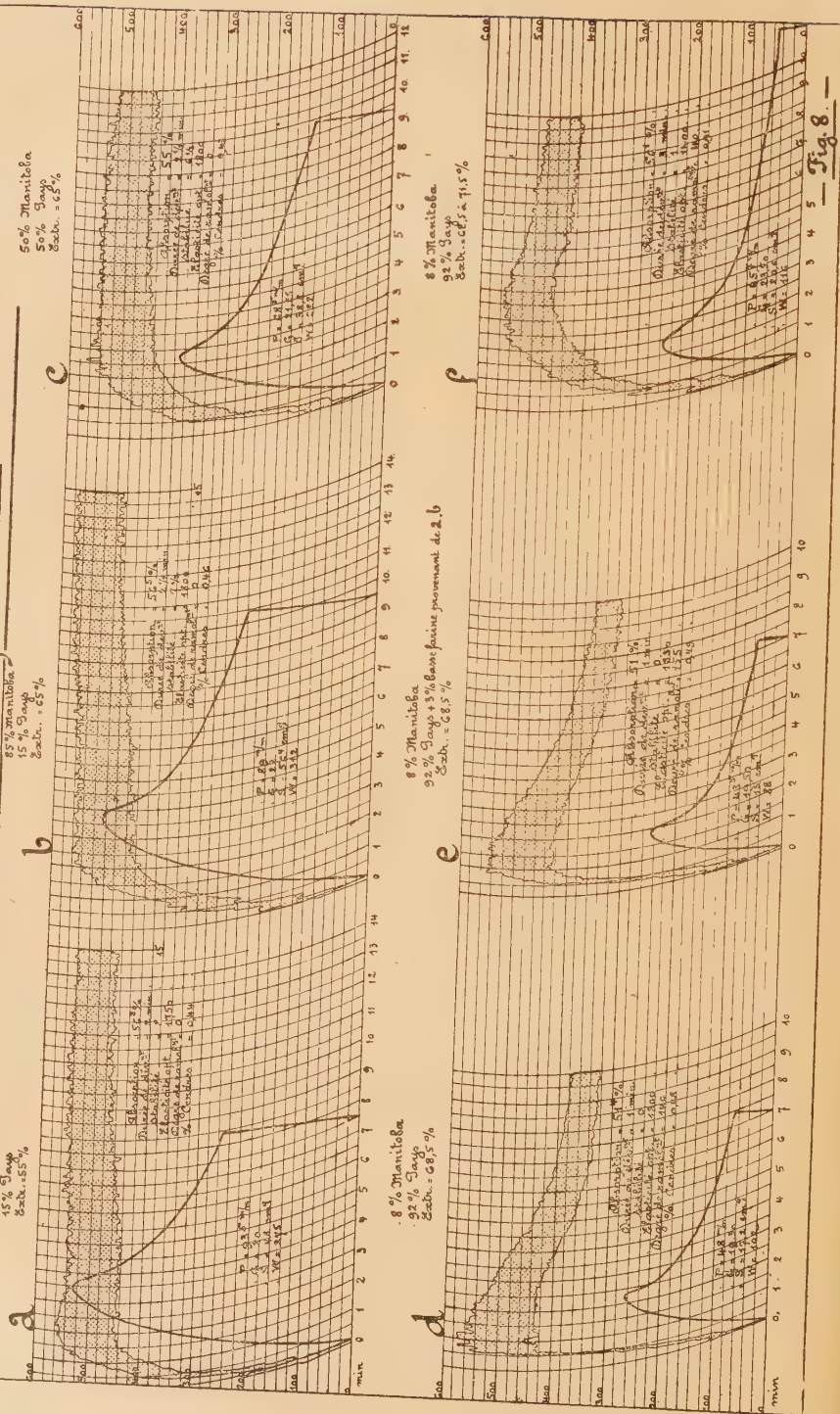
Si l'on prolonge le pétrissage, les phénomènes de gonflement, de dépolymérisation, s'accroissent, les chaînes micellaires se raccourcissent, la plasticité s'altère.

Cette évolution diffère avec la nature de la farine, ses caractéristiques physiques, son taux d'extraction.

La fig. 6 *a* permet de suivre l'évolution d'un blé tendre allemand *a* et d'un blé demi-dur américain de printemps *b*.

Pour le blé *a*, la liaison des éléments composant la pâte est atteinte dès la troisième minute, mais la tenacité s'altère aussitôt obtenue. La pâte de blé demi-dur n'est mûrie qu'au bout

— Comparaison d'Extensigrammes et de Tainiogrammes sur différentes qualités de farines



de 11 minutes, mais conserve sa résistance optima pendant 10 minutes.

Il est à craindre que des farines évoluant si différemment ne donnent qu'un mauvais mélange, l'un des constituants ayant dépassé le point de plus grande résistance avant que l'autre ne l'ait atteint.

La fig. 6 *b* donne, au contraire, un exemple de deux farines bien assorties à ce point de vue.

Notons, en passant, la quantité d'eau très différente (conditionnée en partie par la teneur en protéines) qu'il a fallu ajouter à chacune des 2 espèces de farines pour avoir un couple résistant atteignant 500 unités.

La plupart des blés demi-durs, poussés dans des climats continentaux, n'acquièrent leur plasticité optima que sous l'influence d'efforts intenses de pétrissage fournis par des pétrins à grande vitesse, à bras rotatifs. Un travail plus modéré n'arrive pas, même s'il est prolongé, à vaincre la cohésion des éléments cellulaires, plus fortement et plus régulièrement condensés.

La fig. 6 *c* montre l'évolution de la même pâte demi-dure, à 72 % d'eau, traitée dans le même pétrin par un travail continu à la façon habituelle (courbe *e*) et laissée en repos au point R. pendant 45 minutes (courbe *f*).

Quand le travail est repris, au bout de ces 45 minutes, la tenacité traduite par la courbe ne s'est élevée pendant le repos, que de 200 à 300 unités, l'élasticité représentée par l'épaisseur de la courbe s'étant seule légèrement améliorée.

Nous avons rapproché d'autre part les farinogrammes, extensigrammes, aleurogrammes établis sur une série de farines de diverses qualités (fig. 8 et 9).

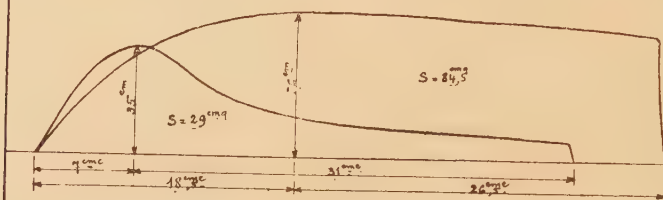
En ce qui concerne les farinogrammes de Brabender, l'allure horizontale et l'épaisseur des courbes contenant une grande quantité de blé dur canadien est caractéristique.

Les farines à base de blé français se distinguent, au contraire, par leur allure pointue traduisant un manque de stabilité.

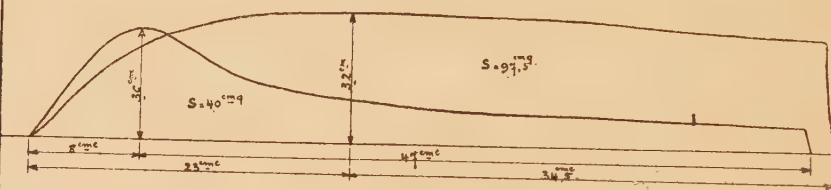
Il faut noter que les farinogrammes Brabender ne permettent pas de connaître, comme avec les appareils à gonflement,

— Aleurogrammes sur pâte et sur gluten
pour différentes qualités de farines —

- a -



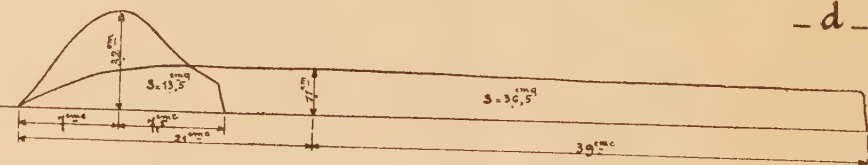
- b -



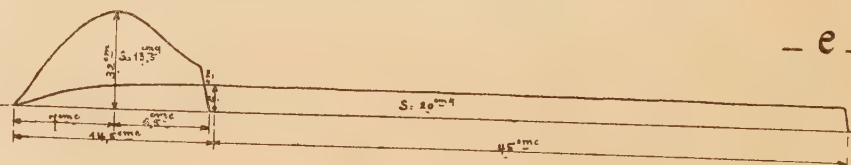
- c -



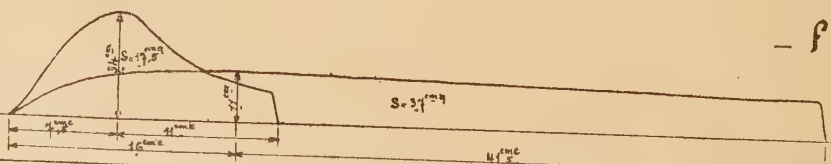
- d -



- e -



- f -



- Fig. 9 -

l'allongement maximum que la pâte est susceptible de prendre.

L'ordonnée h de la courbe correspond plutôt à la mesure de la viscosité de la pâte qu'à sa tenacité.

Pétrin enregistreur de Swanson. — En 1933, Swanson (*Swanson et Working-Testing Quality of flour by the recording mixer Cereal Chemistry vol. X janvier 1933*) a réalisé un mélangeur composé d'un récipient cylindrique contenant la pâte qui est travaillée par 4 broches verticales animées d'un mouvement épicycloïdal (fig. 7).

Le récipient est monté sur un dispositif permettant de mesurer l'effort de pétrissage, par l'importance de l'angle de torsion.

Cet effort s'inscrit sur un tambour enregistreur.

On peut ainsi procéder, à différents moments de la fermentation, à une série d'essais successifs permettant de suivre l'évolution des qualités de la pâte.

Cet appareil semble d'une conception meilleure que le précédent, car la pâte, étirée sous forme de lames minces, est appelée à travailler dans des conditions semblables à celles qui sont nécessaires pour la formation des parois des bulles.

D'ailleurs, quand on a relevé, après l'essai, les broches pétrisseuses, la pâte est retenue entre ces broches, sous forme d'un voile dont la continuité et l'absence de déchirures permet une excellente appréciation des qualités de la pâte.

La fig. 7 a reproduit quelques graphiques établis par Swanson.

Influence, sur les graphiques, des caractéristiques des appareils et des éprouvettes. — Nous avons vu, fig. 1, page 14, quelle était l'allure de la courbe donnant la loi de résistance d'une pâte en fonction de son allongement. Les appareils d'essais, distendant la pâte sous forme d'une bulle, représenteront, par une courbe ayant sensiblement la même allure, la loi de variation de la résistance au gonflement de la bulle, en fonction du volume de cette bulle.

Ces courbes varieront suivant les caractéristiques de l'appareil et des éprouvettes qu'il utilise.

Pour pouvoir comparer utilement les résultats donnés par des appareils différents, voyons d'abord l'influence, sur les courbes, des variations de chacune des caractéristiques.

Les appareils peuvent différer par le diamètre et l'épaisseur de l'éprouvette de pâte qu'ils admettent par la vitesse de gonflement de la bulle.

Les éléments d'une section diamétrale d'une bulle de pâte ou de gluten sont soumis à des efforts unitaires de tension ;

$$t = \frac{\text{pression} \times \text{rayon}}{2 \times \text{épaisseur}}$$

Ce qui revient à dire que, pour une même pâte, la pression d'éclatement sera d'autant plus faible que le diamètre de l'éprouvette sera plus grand et son épaisseur plus faible.

C'est ce que confirment les résultats expérimentaux, établis sur l'Aleurographe, reproduits dans le tableau ci-dessous (sur farine de blé du pays) :

Diamètre de l'éprouvette en m/m.	Pression en m/m d'eau	Volume de la bulle en cm ³	Hauteur de la bulle en m/m.	
25	850	16,5	13	} Epaisseur de l'éprouvette : 2 m/m. % d'eau de pétrissage : 30 % (par rapport au poids de farine).
30	670	15,5	15	
35	420	16,5	18	
40	300	20	20	
50	250	24,5	23	
Epaisseur de l'éprouvette en m/m				
1,4	350	8	11	} Diamètre de l'éprouvette : 30 m/m. % eau de pétrissage : 30 %.
1,7	520	10	12	
2	620	12	14	
% d'eau de pétrissage				
37	330	10,5	»	} Epaisseur de l'éprouvette : 2 m/m. Diamètre : 30 m/m.
33	440	12,5	»	
30	520	13	»	
26	610	13,5	»	

La fig. 10 reproduit les graphiques correspondants.

Comme dans le cas des éprouvettes ayant servi à des essais de traction ou d'estampage, la rupture de la bulle se produit

toujours dans la partie centrale qui se met en striction. La pâte dilatée forme une bulle dont le sommet s'amincit progressivement, puis se crevasse, laissant échapper l'air.

L'allure des courbes est affectée aussi par la vitesse de gonflement.

Nous appelons *coefficient de gonflement* d'une éprouvette de pâte, le volume d'air (ou de tout autre fluide de gonflement) insufflé par unité de temps, ce volume étant défini comme une fraction du volume atteint par l'éprouvette quand elle a pris la forme d'une demi-sphère, c'est-à-dire quand sa hauteur est devenue égale à son rayon.

Par exemple, l'Extensimètre Chopin qui gonfle à une vitesse de $27,2 \text{ cm}^3$ par seconde, une éprouvette donnant une demi-

sphère de : $\frac{2}{3} \pi \frac{2,9 \text{ cm}^3}{3}$

a un coefficient de gonflement de :

$$\frac{3}{2 \pi} \frac{27,2 \text{ cm}^3}{2,9^3} = 0,54 \text{ environ.}$$

tandis que le coefficient de gonflement de l'Aleurographe n'est que de :

$$\frac{3}{2} \frac{2 \text{ cm}^3}{4,5^3} = 0,28 \text{ environ.}$$

L'Aleurographe gonfle donc la pâte deux fois moins vite environ que l'Extensimètre.

Le diamètre des éprouvettes étant dans le rapport $\frac{5,8 \text{ cm}^3}{3,0 \text{ cm.}}$, le rapport des volumes engendrés par ces éprouvettes est de :

$$\frac{5,8^3}{3^3} = 7,2.$$

Il faudrait donc que le volume insufflé par unité de temps soit seulement 7,2 fois plus grand pour l'Extensimètre que pour l'Aleurographe pour rendre les résultats de ces 2 appareils comparables.

Maturation de la pâte. — Les qualités plastiques d'une pâte dépendent du nombre, de l'importance, du genre et de la qualité des liaisons réunissant les éléments protéiques de chaque grain de farine.

Quand la pâte vient d'être formée, les grains de farine ne sont imprégnés d'eau que très superficiellement, la couche gélifiée est de faible épaisseur, les liaisons sont courtes. Les forces capillaires, dues à l'interposition entre grains, sous forme de film, de l'eau surabondante, ne sont pas négligeables.

Au fur et à mesure que l'eau pénètre les grains et se dissout dans les substances colloïdales qui les composent, la couche gélifiée augmente d'épaisseur, l'hydratation s'égale dans la masse, les liaisons deviennent plus longues.

La plasticité dépendant de la longueur et du degré de liberté des liaisons, on passe d'une pâte « courte » à une pâte longue ou « souple ».

Tant que l'eau de pétrissage n'a pas imprégné totalement et uniformément le grain de farine en le ramollissant, la pâte n'est pas dans un état plastique stable, ses qualités évoluent rapidement d'une façon continue, l'élasticité et la tenacité allant augmentant pour atteindre un maximum.

On ne peut, dans ces conditions, envisager de mesurer la plasticité tant que cette évolution n'est pas terminée et que l'état de stabilité relative de ses qualités plastiques, connu sous le nom de « maturation », n'est pas atteint.

Le temps nécessaire à la maturation d'une pâte varie avec les conditions extérieures et avec l'état physique de la farine, notamment avec son espèce, mais surtout avec la grosseur de sa granulation, avec son humidité originelle, l'intensité du travail de pétrissage.

Dans les blés demi-durs et durs, la plasticité optima est plus longue à acquérir que pour les blés tendres. La pâte maturée est parfaitement lisse, douce au toucher et s'allonge sans se rompre. Si l'on prolongeait le pétrissage d'une manière exagérée, ou s'il était conduit trop brutalement, on romprait les chaînes micellaires, provoquant ainsi une sorte de dépolymérisation artificielle, altérant les qualités plastiques de la pâte.

Dans son *Etude des phénomènes diastasiques dans les farines de froment* (Jean éditeur, Gap 1930), Loeb signale qu'une pâte fraîchement pétrie se remet aisément en suspension par simple trituration et addition d'un excès d'eau.

Au bout d'une heure de repos, la même pâte, déjà plus homogène et élastique, se prête encore à la remise en suspension.

Au bout de 2 heures 1/2 à 3 heures, la liaison est telle que le gluten se rassemble en grumeaux difficiles à déliter pour les farines de blé de pays et impossible à disperser pour les farines à gluten coriace, genre Manitoba.

Loeb attribue, avec juste raison, à la maturation de la pâte cette résistance à la résolution, croissante avec le temps ; mais du fait que la pâte de blé tendre se montre plus facile à disperser au bout d'un même temps que la pâte de blé demi-dur, Loeb croit pouvoir conclure que « La pâte de farine de blé tendre demande plus de temps pour acquérir une plasticité suffisante qu'une pâte de farine de blé de force ».

Ceci étant en contradiction avec les résultats trouvés par Brabender, nous pensons que, conformément aux diagrammes du Farinographe, la pâte de blé tendre acquiert, au contraire, sa maturation plus vite que la pâte de blé demi-dur. Si elle se délite plus facilement, cela est dû à sa nature qui conditionne des liaisons restant toujours plus précaires que les liaisons solides des glutens forts.

Hydratation de la pâte destinée au prélèvement des éprouvettes de mesure. — De ce qui précède, il résulte qu'une pâte maturée est celle dans laquelle l'eau de pétrissage a gonflé complètement et régulièrement les grains de farine, la pénétration de l'eau ayant été facilitée par un pétrissage ménagé.

Cette maturation correspond à une certaine stabilité plastique de la pâte, stabilité *toute relative d'ailleurs*, puisque, sous l'action notamment des diastases, l'état des liaisons continue à évoluer, quoique plus lentement.

Suivant la quantité d'eau de pétrissage entrant dans sa composition, une pâte maturée pourra présenter des qualités plastiques très différentes ; d'une façon générale, la tenacité diminuant et l'élasticité augmentant, si la quantité d'eau est augmentée dans de certaines limites.

Il convient donc, pour faire sur des échantillons de farine

différents, des mesures de plasticité comparables entre elles, de fixer, d'une façon très précise, les conditions d'hydratation de la pâte destinée au prélèvement des éprouvettes de mesure.

Éprouvettes confectionnées avec une quantité d'eau constante. — Il semble tout d'abord indiqué de travailler à quantité d'eau de pétrissage constante dans tous les cas, compte tenu de l'humidité originelle de la farine.

Dans ces conditions, l'appareil de mesure traduira, par une élévation de la tenacité et une diminution correspondante de l'élasticité, le comportement de la farine dont le pouvoir d'hydratation sera grand. Il n'exprimera donc pas les qualités dont cette farine, très hydratante, ferait montre, si elle avait reçu la quantité d'eau qu'elle est susceptible d'absorber, sans abaissement exagéré de sa tenacité, quantité d'eau que, dans la pratique boulangère, l'opérateur aurait réellement « coulée ».

En opérant à quantité d'eau constante, l'essai nous indiquera donc seulement, par l'élévation H de la tenacité, si la farine essayée est susceptible d'absorber plus ou moins d'eau.

Cette méthode a pour elle l'avantage d'une très grande simplicité.

Éprouvettes de tenacité constante. — Il paraît cependant plus indiqué de se placer dans les conditions de la pratique boulangère et d'opérer à tenacité de pâte constante.

Le boulanger ajoute, en effet, à la farine, une quantité d'eau variable dans chaque cas, cherchant seulement à obtenir une pâte mûrée ayant la tenacité constante reconnue nécessaire au genre de travail envisagé. La meilleure pâte sera, pour le praticien, celle qui sera la plus élastique, en même temps que la plus longue, sous cette tenacité constante.

D'ailleurs, l'expérience nous a montré que, dans la pratique, les farines industrielles à taux d'extraction normal, provenant d'une même espèce de blé, ayant sensiblement la même humidité voisine de 15 %, préparées et conservées dans des conditions identiques, devaient être pétries avec une quantité d'eau sensiblement constante pour chaque espèce de farine.

Cette quantité d'eau étant environ de :

37 %	pour les farines de blés de pays.
40 %	— de blés demi-durs genre Manitoba.
50 %	— de blés durs.

Ces pourcentages d'eau sont ceux qui conviennent dans la majorité des cas pour des farines industrielles normales, étant bien entendu qu'ils n'ont que la valeur d'une indication.

Dans ces conditions, les tenacités de ces différentes pâtes sont très voisines et leurs élasticités, enregistrées par les graphiques, sont sensiblement dans le même rapport que les élasticités qui seraient acquises, par ces pâtes, au cours d'un travail industriel.

S'il résultait, d'un premier essai, que la tenacité de l'éprouvette de pâte ainsi hydratée s'écartait trop de la normale, il devra être recommencé en faisant varier la quantité d'eau dans le sens voulu, jusqu'à obtention de la tenacité type.

Tout graphique doit donc être complété par l'indication de la quantité d'eau de pétrissage.

Quelquefois même, pour des blés particulièrement durs et secs, l'intensité du pétrissage elle-même devra être augmentée pour permettre la pénétration complète de l'eau à l'intérieur des grains de farine dans un laps de temps normal.

Mode opératoire pour la confection des éprouvettes destinées aux essais à l'aleurographe. — Ces principes exposés, voici le mode opératoire employé pour les essais à l'Aleurographe, exécutés à tenacité constante.

Si l'on a affaire à des semoules, les convertir (1) en 3 à 4 passages, de façon à ce qu'elles blutent à travers un tamis de soie 10 XX.

Le refus restant sur le 10 XX, après le dernier convertissage, ne doit pas excéder 5 % environ. Il est mélangé intimement aux farines fournies par les convertissages.

(1) Pour obtenir la définition des termes techniques de meunerie ainsi que la correspondance entre la numération des tamis employés en meunerie et l'ouverture correspondante des mailles, se reporter à l'Annexe 1.

50 gr. de farine sont pétris 3 minutes avec une quantité d'eau salée à 2,5 % variant de 35 % à 50 %, suivant l'espèce de la farine, dans un pétrin spécial à double vis pétrisseuse.

La pâte ainsi obtenue, formée en un pàton plat de 10 mm. d'épaisseur environ est laminée.

A l'issue du pétrissage, en effet, les grains de farine sont hydratés régulièrement, mais superficiellement. La maturation proprement dite n'est obtenue qu'après les efforts de pression développés au cours de cinq laminages successifs, à l'écartement de 2 mm. 50, ce mode de travail ayant, en outre, l'avantage de livrer la pâte sous forme d'une lame calibrée se prêtant bien au découpage des éprouvettes.

Après chaque laminage, la lame de pâte est repliée sur elle-même en double épaisseur, pour être présentée, *la plure la première*, au laminage suivant.

Ces cinq laminages en double épaisseur sont suivis de trois autres laminages au même écartement, la lame de pâte restant en simple épaisseur.

Durant ces trois deux derniers laminages, la pâte doit être maniée avec beaucoup de précaution, de façon à éviter toute déformation.

Elle est découpée à l'emporte-pièce de 60 mm., de façon à obtenir trois rondelles d'essai au moins.

Les rondelles reposent 10 minutes, en atmosphère saturée, et à 18° dans une armoire spéciale.

Chaque rondelle est calibrée soigneusement deux fois en croix, au même écartement de 2 mm. 50.

Les éprouvettes sont alors portées sur l'Aleurographe et essayées.

On peut se demander, en terminant, pourquoi la quantité d'eau d'hydratation de la pâte d'essai n'est pas celle employée généralement pour les pâtes destinées à la panification, c'est-à-dire voisine de 60 %. Ceci de façon à placer les essais exactement dans les conditions industrielles.

C'est que la tenacité de la pâte à 60 % d'eau est trop faible pour permettre le maniement facile de la pâte pendant les

essais, sans déformations nuisibles. Dans ces conditions, il n'est pas possible d'hydrater la pâte d'essais à plus de 40-45 % pour l'Aleurographe et 50 % pour l'Extensimètre Chopin.

Examen des éprouvettes après essai. — De même que dans les essais de résistance des métaux, il faut attacher une grande importance à l'examen des déformations de l'éprouvette et l'aspect de la rupture.

En ce qui concerne les essais à l'Aleurographe, les éprouvettes après essais ont pris la forme de calottes sphériques plus ou moins développées (fig. 11 *a. b. c.*).

La rupture se produit par apparition simultanée d'un grand nombre de fissures apparaissant au sommet de la calotte, amincie par striction.

Des fissures toutes parallèles indiqueraient la disparition incomplète d'une structure orientée due au laminage.

Une rupture sur le pourtour de la calotte pourrait être due à un pincement trop énergique du plateau de serrage.

La surface de la calotte doit être très lisse, non croûtée, et le grain, particulièrement apparent dans la région distendue, doit être très fin.

Une surface écailleuse et une paroi formée d'une pellicule amincie, parsemée de gros grains, indiqueraient une maturation de la pâte insuffisante.

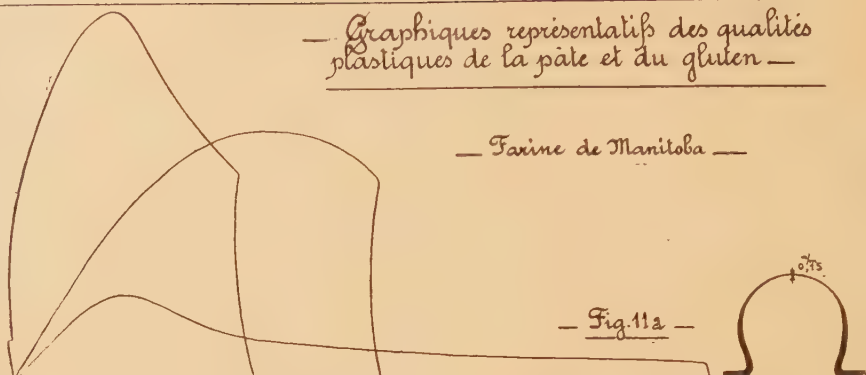
La hauteur et la forme de la calotte doivent être prises en considération. Toutes choses égales, une calotte très développée sera très mince. Elle indiquera une pâte très élastique, susceptible de s'allonger beaucoup sans rupture. Ce sera un signe de qualité et cela d'autant plus que cette élasticité sera associée à une résistance suffisante. C'est ce que l'on obtient avec les blés demi-durs, américains et canadiens.

Dans ce dernier cas, la forme générale de la calotte en tronc de cône, grande base vers le haut, est caractéristique (fig. 11 *a.*).

Pour les blés français de qualité normale, l'éprouvette est, après essai, beaucoup moins développée ; elle laisse échapper l'air quand la paroi est encore épaisse.

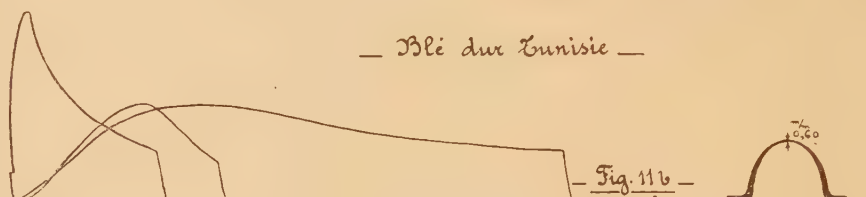
Graphiques représentatifs des qualités plastiques de la pâte et du gluten

— Farine de Manitoba —



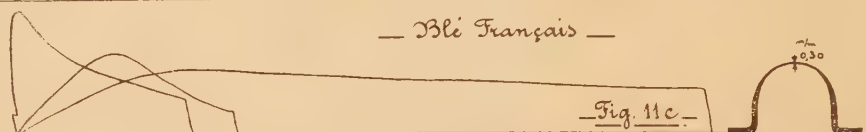
— Fig. 11a —

— Blé dur Tunisie —



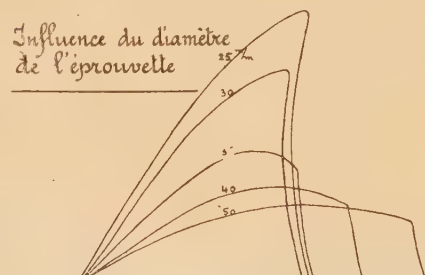
— Fig. 11b —

— Blé Français —

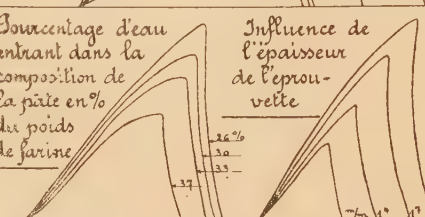


— Fig. 11c —

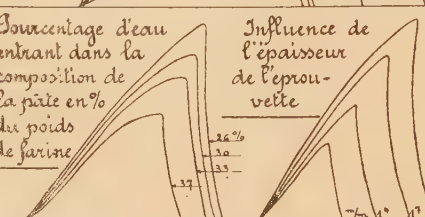
Influence du diamètre de l'éprouvette



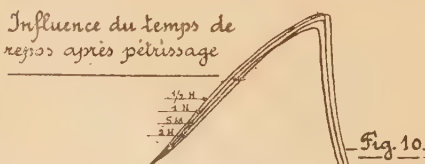
Pourcentage d'eau entrant dans la composition de la pâte en % du poids de farine



Influence de l'épaisseur de l'éprouvette

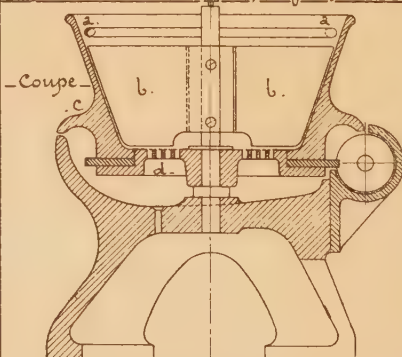


Influence du temps de repos après pétrissage

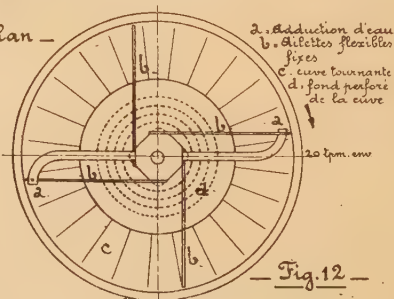


— Fig. 10 —

Lixivateur mécanique Glutex à ailettes



— Plan —



— Fig. 12 —

La surface de la calotte est écailleuse, sa forme générale est celle d'un cylindre surmonté d'une calotte sphérique.

Les graphiques correspondants sont beaucoup plus courts (fig. 44 c.)

Les blés durs nord-africains, dont les graphiques sont généralement courts, donnent une calotte basse, en tronc de cône, petite base vers le haut. Les parois de la bulle, après éclatement, ont une épaisseur intermédiaire entre celle des bons blés demi-durs de la première catégorie et celle des blés de pays (fig. 44 b).

L'examen des éprouvettes met bien en évidence le fait que la faculté de se développer, sous forme d'une *lame mince imperméable et résistante*, est bien la caractéristique essentielle d'une pâte de bonne qualité.

CHAPITRE II

LE GLUTEN — SON OBTENTION — SES QUALITÉS PHYSICO-CHIMIQUES SES QUALITÉS DE RÉSISTANCE MÉCANIQUE

Le gluten. — Sa composition chimique. — Obtention du gluten. — Principe de la lixiviation. — Extraction manuelle. — Extraction mécanique. Mode opératoire pour l'obtention du gluten par lixiviation mécanique. — Microlixiviation. — Essorage du gluten. — Hydratation du gluten. — Influences agissant sur l'hydratation : *a)* Espèce du blé ; *b)* Temps de repos du pâton avant lixiviation ; *c)* Température de l'eau de gonflement ; *d)* Quantité d'eau de pétrissage du pâton ; *e)* Qualité de l'eau ; *f)* Ancienneté de la farine. — Gonflement spécifique du gluten suivant Berliner et Koopman. — Influences entraînant une variation de la quantité de gluten sec : *a)* Poids du pâton ; *b)* Calibre des grains de farine ; *c)* Impuretés de la farine ; *d)* Teneur en sels de l'eau de lixiviation ; *e)* Température de l'eau de lixiviation ; *f)* Temps de repos du pâton ; *g)* Chauffage de la farine. — Examen du gluten sec. — Résistance mécanique du gluten. — Mode opératoire pour la détermination à l'Aleurographe des qualités plastiques du gluten. — Aleurogrammes correspondant à des glutens provenant de différentes sortes de blés. — Glutens coriaces. — Glutens mous. — Aleurogrammes de glutens provenant de farines extraites à des taux d'extraction différents. — Influence modifiant les qualités mécaniques du gluten. — Amidon de blé. — Influence sur les graphiques des différences de constitution des éprouvettes de pâte et de gluten. — Différences pratiques dans l'exécution des essais sur pâte et sur gluten.

Le grain de farine, comme nous l'avons vu au début de ce travail, est formé de cellules mesurant environ $0,25 \times 0,10$ mm. ou de portions de cellules, chacune d'elles étant physiquement constituée par un réseau protéique, sorte d'éponge retenant, entre ses mailles, les grains d'amidon dont le diamètre va de $0,025$ à $0,10$ mm.

En lixiviant, sous un filet d'eau, une pâte ferme de farine, les grain d'amidon sont entraînés hors de leurs alvéoles, les réseaux protéiques, gonflés d'eau, de chaque cellule, sont mis en contact ; ils se soudent entre eux et il en résulte une masse plastique appelée gluten.

Le gluten est donc un complexe hétérogène préexistant dans la farine, isolé artificiellement par l'agglomération des principaux composés protéiques de la farine préalablement amenés par absorption d'eau à l'état de gelée.

Les cellules à aleurone et le germe ne contiennent pas de gluten, mais des protéines solubles et des lipoides.

Etant donné la manière dont il est obtenu, le gluten contient, outre les protéines, une quantité notable de grains d'amidon non éliminés par le lavage, de débris cellulosiques, de matières grasses, de sels minéraux. Par contre, les protéines solubles ou dispersables de la farine ont été entraînées, en totalité ou en partie, par les eaux de lavage.

On peut se demander, dans ces conditions, d'où vient l'importance attribuée, dans la pratique meunière, à ce mélange hétérogène, chargé d'impuretés, paraissant difficilement susceptible d'être obtenu dans des conditions identiques au cours d'essais successifs.

C'est que l'expérience montre que les qualités plastiques d'une pâte ne dépendent pas de l'amidon qui semble se comporter, au point de vue des liaisons de la pâte, comme une substance inerte, mais sont conditionnées par les qualités du réseau protéique cellulaire. Or, la qualité liante de ces réseaux se reflète, d'une manière très exacte, dans le gluten résultant de leur agglomération.

On pourrait penser que la résistance d'une pâte est due aussi bien à la quantité de liaisons qu'à leur qualité. Autrement dit, la quantité de gluten contenu dans une pâte semblerait devoir, tout comme la qualité de ce gluten, exercer une influence. Or, l'expérience montre que la résistance d'une pâte dépend surtout de la qualité de son gluten, l'influence de la quantité de gluten étant peu sensible.

Le gluten. — Sa composition chimique. — L'agglomération de matières azotées formant le gluten ne rassemble que 80 % environ de protéines de la farine:

Il résulte, d'une série considérable d'essais effectués par M^{lle} Pecaud sur des blés de toutes espèces prélevés sur les récoltes des années 1921 à 1928, *que la différence entre le pourcentage*

de protéines de la farine déterminé par le procédé de Kjeldahl et le pourcentage sec de gluten extrait par lixiviation manuelle ne dépasse pas 5 à 10 %.

Il y a donc compensation partielle entre les matières étrangères aux protéines retenues par le gluten et les pertes de protéines survenues pendant la lixiviation.

Des essais récents de Schell et Guillemet, Strasbourg 1932, essais reproduits dans le tableau ci-dessous confirment ces résultats.

En général, pour les blés durs, l'écart entre le pourcentage de protéines et le pourcentage de gluten sec est plus important que pour les blés tendres.

COMPARAISON ENTRE LE POURCENTAGE DE GLUTEN SEC
ET LA QUANTITÉ DE PROTÉINES CONTENUE DANS LA FARINE
ET DANS LE GLUTEN EXTRAIT DE CETTE FARINE

Espèce du blé	Mode d'extraction du gluten	% Protéines calculées d'après le dosage d'azote (N × 5,7)		% Gluten sec	
		Dans la farine	Dans le gluten humide 1 ^{er} essai 2 ^e essai	1 ^{er} essai	2 ^e essai
Manitoba.	Machine	14.0	10.20 —	13.6	—
	Main		9.69 10.0	12.4	12.5
Maroc.	Machine	10.9	9.32 8.55	11.5	11.0
	Main		7.75 8.55	10.1	10.5
Tunisie	Machine	11.4	8.15 8.6	10.1	11.7
	Main		8.15 8.65	10.3	10.8
Blé de Pays	Machine	8.26	6.67 6.26	8.0	8.0
	Main		5.7 5.35	7.4	6.8
Algérie	Machine	10.7	7.65 8.5	10.4	10.8
	Main		7.10 8.1	9.4	10.0
Vilmorin	Machine		— 5.1	6.3	6.5
Aurore 27	Machine	7.0			
	Main		4.0 4.0	5.0	5.4
Russe.	Machine	11.4	— 8.55	—	11.3
	Main		— 8.45	—	10.9
Bulgare	Machine	9.75	— 6.5	—	8.5
	Main		— 5.8	—	7.5

D'après des essais de Schell et Guillemet (Strasbourg 1932).

Voici, d'autre part, d'après Bailey, le pourcentage moyen de matières non azotées contenues dans le gluten :

Protéines ($N \times 5,7$) (gliadine et gluténine) .	81
Amidon	10
Cellulose	2
Matières grasses	5
Cendres	2
	100

Le gluten est donc bien un complexe protéique très chargé en matières non azotées, notamment en amidon.

En prolongeant le lavage pendant plusieurs heures, on peut amener à 90 % environ le pourcentage de protéines, mais au prix d'une perte importante de matière. Cette perte étant sensiblement constante pour une espèce de blé déterminée, moulue dans des conditions identiques.

Les protéines composant le gluten sont pour 75 % environ (60 à 80 %) une prolamine, la gliadine, et pour 25 % environ (20 à 30 %) une glutéline, la gluténine. S'y joignent accessoirement une leucosine (0, 3 %), une globuline (0, 6 %). Tous ces corps sont des protéines à forme essentiellement colloïdale, résultant de la combinaison de groupes amino-acides. Ils se présentent sous forme de granules.

La gliadine est soluble dans l'alcool étendu, le phénol, le para-crésol, les acides, les alcalis. Pt. isoélectrique $pH = 6,5$.

Elle est dispersée à l'état de sol par les acides et les alcalis dilués. Sous l'action du formaldéhyde, elle perd sa solubilité et acquiert un grand pouvoir de gonflement.

Elle est hydrolysée par les acides, les alcalis bouillants, les diastases protéolytiques, notamment par la pepsine.

Elle se présente, physiquement, sous forme de lamelles très adhésives.

La gluténine est pratiquement insoluble, sauf dans les alcalis. Pt. isoélectrique $pH = 6,8$ à 7 (Tague 1925).

Elle se présente sous forme d'un agrégat pulvérulent sans pouvoir liant.

La gliadine et la gluténine diffèrent donc essentiellement par leurs qualités physiques et leur comportement physico-

chimique est très différent. Elles proviennent cependant toutes deux de la condensation d'acides aminés et sont de constitution chimique voisine.

Certains chercheurs ont soutenu, autrefois, (Kosutany), que la gliadine pouvait évoluer spontanément en gluténine par changement d'hydratation. Ce serait le phénomène qui produirait la maturation des blés nouveaux, c'est-à-dire la transformation de leur gluten filant en gluten de tenacité normale.

La germination opérerait, au contraire, la transformation inverse de gluténine en gliadine.

Kosutany estimait aussi que le relâchement de la pâte par le repos était dû à la transformation de gluténine en gliadine par hydratation.

Il se basait sur le fait qu'une solution de gliadine dans l'alcool forme, au bout de quelques mois, un dépôt insoluble qui serait de la gluténine formée par deshydratation. D'autre part, la gliadine oxydée par MnO^4K deviendrait pulvérulente et insoluble comme la gluténine. Ces hypothèses sont discutables.

On estimait, autrefois, qu'une bonne farine devait contenir 75% de gliadine pour 25% de gluténine. Pour mesurer cette proportion, on dissolvait la gliadine en traitant la farine par l'alcool à 70%, et l'on mesurait l'augmentation de densité du filtrat par un aëromètre gradué directement en degrés de gliadine (Méthode Fleurent).

Cette observation a été contestée depuis. Il semble que les divergences d'opinion proviennent surtout de la variété des méthodes employées pour isoler la gliadine et la gluténine.

En tout cas, il reste admis que, dans le gluten, la gliadine est le liant dont le réseau retient les éléments pulvérulents de gluténine.

L'influence des lipoïdes, en particulier des phosphatides, sur les qualités du gluten, est considérable. Ces corps sont introduits dans la farine, avec les débris périphériques, au moment de la mouture du grain. La qualité d'une farine, en tant qu'elle dépend du gluten, est très différente, suivant la perfection de la mouture dont elle est issue.

Obtention du gluten. Principe de la lixiviation. —

Nous avons vu, au début de cette étude, que les réseaux protéiques remplissant les cellules de l'amande farineuse proviennent de la deshydratation progressive d'un sol qui est passé, pendant la maturation du grain, par l'état de gelée pour aboutir à un gel.

Cette transformation étant reversible en partie pour certains des éléments ; quand le grain de farine est humidifié, les réseaux protéiques sont susceptibles de dissoudre l'eau et de reprendre l'état d'une gelée plus ou moins rigide.

Ils se soudent, dans ces conditions, aux réseaux des cellules voisines, à la condition d'être mis en contact immédiat avec eux.

Cette soudure est facilitée par le pétrissage, c'est-à-dire par une suite de mouvements mettant successivement en contact, avec pression, les différentes masses protéiques entre elles.

On obtient alors une pâte, c'est-à-dire une charpente protéique alvéolaire formant comme les mailles d'un réseau retenant les grains d'amidon.

Ces grains d'amidon, tant qu'ils sont intacts, sont garantis par une enveloppe d'amylopectine. Ils ne semblent pas participer au gonflement. En tout cas, ils n'adhèrent pas à la masse protéique qui les entoure.

Il en résulte que l'élimination de l'amidon peut être faite par lixiviation, c'est-à-dire en déformant progressivement, par étirage et par glissement des différents plans les uns sur les autres, cette pâte hétérogène, de façon à amener successivement, à l'extérieur du pàton, les grains d'amidon enchâssés dans la masse et dépourvus d'adhérence avec elle.

Ces grains d'amidon faisant saillie à l'extérieur sont alors facilement entraînés par l'action d'un courant d'eau, tandis que l'alvéole vidée se referme, enfermant une pellicule d'eau.

L'opportunité de suspendre la lixiviation est annoncée par le fait que l'eau de lavage, rendue laiteuse jusque-là par les grains d'amidon entraînés, devient à peine louche.

On se trouve alors en présence d'une masse spongieuse, non homogène, qui constitue le gluten humide. Elle est composée de lames de gluten appliquées les unes sur les autres, séparées

par des films d'eau contenant encore, comme le met en évidence l'examen microscopique, des grains d'amidon, des débris azotés provenant de l'assise protéique, des débris celluloses, résidus des parois des celluloses de l'amande, des débris ligneux corticaux, des matières grasses.

En contre-partie, une certaine quantité de sucres, de matières azotées solubles, de fines particules de gluten ont été entraînées ou dissoutes.

Dans la masse du gluten humide ainsi obtenue, l'eau se présente, pour une partie, sous la forme de films liquides retenus par capillarité dans les réseaux protéiques agglomérés et, pour l'autre partie, sous forme d'eau de gonflement des gels protéiques constituants. L'ensemble de l'eau ainsi retenue constitue l'hydratation du gluten.

On peut admettre qu'un essorage méthodique, effectué toujours de la même façon, ramène l'eau de capillarité à une valeur sensiblement constante. En ce qui nous concerne, nous réalisons un essorage aussi régulier que possible en comprimant la rondelle de gluten humide provenant de 50 gr. de farine dans un châssis fait de deux plaques de verre appliquées l'une contre l'autre, au moyen d'un ressort à lame, de force constante.

Le châssis est disposé verticalement, de façon que l'eau extraite puisse s'écouler. La pression est appliquée pendant 5 minutes. On vérifie, grâce à la transparence du verre, qu'aucune bulle d'eau importante ne reste incluse dans la masse du gluten.

Quant à l'eau de gonflement, sa quantité dépend d'un grand nombre de facteurs physico-chimiques, son pourcentage constitue une caractéristique importante du gluten examiné. En desséchant le gluten humide, on élimine l'eau de gonflement et l'on obtient le gluten sec.

On exprime généralement la quantité d'eau de gonflement en la ramenant au poids d'eau contenu dans 100 gr. de gluten humide. C'est ce qu'en pratique meunière on appelle *l'hydratation du gluten*.

On pourrait, comme cela se fait pour l'humidité des autres produits, ramener l'humidité au poids de matière sèche, c'est-

à-dire de gluten sec. Dans ce cas, une hydratation normale serait de l'ordre de 200 %, c'est-à-dire que le gluten absorbe, par gonflement, environ 2 fois son poids d'eau.

Extraction manuelle. — Elle se pratique en pétrissant à la main un pâton de farine, sous un filet d'eau coulant goutte à goutte.

Balland (*Mémoires sur les farines*, 1883), et surtout Arpin ont étudié longuement la malaxation manuelle. Arpin a mis au point (*Farines, Féculles, Amidon*, 1913), une technique opératoire très précise et a publié ses résultats dans un ouvrage qui fait toujours autorité.

Cependant, étant donné les influences multiples susceptibles d'agir sur la formation du gluten, la malaxation à la main doit être condamnée. Elle donne des résultats variables d'un opérateur à l'autre, même si les conditions opératoires paraissent rigoureusement identiques.

Les différences entre poids de gluten extraits d'une même farine paraissent imputables en grande partie, à la température différente des mains des opérateurs.

Nous avons constaté, notamment, qu'un opérateur élevait de 2° de plus qu'un autre opérateur la température de 0,5 litre d'eau de malaxation, par la seule action réchauffante de ses mains.

Les poids de gluten sec obtenu par l'opérateur dont les mains étaient plus chaudes, étaient supérieurs de 0, 40 % environ à ceux de l'autre opérateur. Ceci sur des glutens mous de blés français.

En ce qui concerne la plasticité, les aleurogrammes sur glutens obtenus manuellement accusent une tenacité qui peut atteindre le double et une élasticité qui peut être la moitié de celles des aleurogrammes obtenus sur glutens malaxés mécaniquement.

En un mot, les glutens obtenus manuellement donnent des courbes plus « bossues », surtout pour glutens mous.

En tout cas, les aleurogrammes sur glutens obtenus à la main sont très irréguliers et ne peuvent être pris en considération.

Extraction mécanique. — La malaxation mécanique donne des résultats beaucoup plus comparables. Il est essentiel, pour cela, d'employer des machines dont les ailettes ou parties travaillantes soient absolument identiques entre elles, notamment sous le rapport du profil de l'élasticité, du poids, de façon à soumettre le gluten aux mêmes efforts.

Des ailettes trop flexibles ou réglées sans pression suffisante, fournissent des glutens insuffisamment débarrassés de leur amidon et accusant, par conséquent, un poids trop élevé. Egalement, le nombre de tours par seconde de l'appareil doit être fixé.

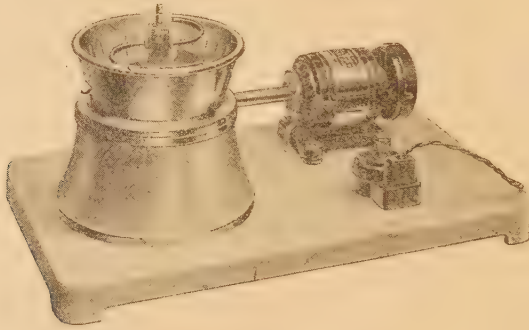


FIG. 12 bis.

D'autre part, si les parties travaillantes agissent trop énergiquement, les liaisons de gluten sont altérées et les essais ultérieurs de plasticité sont faussés.

Nous avons remarqué, également, que, pour ménager la plasticité, il convient que le travail de la malaxation mécanique soit discontinu. Il doit résulter, par exemple, de la pression exercée sur le gluten par le passage d'ailettes distinctes et non pas être le fait du mouvement continu d'un organe pétrisseur en contact permanent avec la masse de gluten.

En résumé, les appareils d'extraction mécanique doivent respecter la plasticité du gluten en même temps qu'ils le débarrassent suffisamment de l'amidon.

Nous employons, pour nos essais, un extracteur mécanique dit « Glutex », de notre construction (fig. 12).

Cet appareil est constitué par une cuve tournante, au centre de laquelle sont disposées des ailettes fixes. La pâte introduite dans la cuve est entraînée par son mouvement et forcée entre la paroi tournante, munie de côtes en saillie, et les ailettes, tandis qu'un filet d'eau tombe sur la surface étirée de la pâte.

Le fond de la cuve est constitué par un tamis de cuivre perforé, permettant l'écoulement de l'eau chargée d'amidon.

La cuve a un diamètre de 100 m/m et tourne à 8 tours par minute. Les 4 ailettes *planes* sont découpées dans une feuille d'acier spécial de 0,5 mm d'épaisseur.

Mode opératoire pour l'obtention du gluten par malaxation mécanique. — Il importe que ce mode opératoire soit observé rigoureusement, pour rendre, bien comparables entre eux, les essais de plasticité qui pourront être faits ultérieurement sur le gluten.

On prépare une pâte avec 50 gr. de farine, comme s'il s'agissait d'un essai sur pâte (*Chap. I page 37*), cette pâte étant pétrie 3 minutes dans le pétrin spécial avec 37 %, d'eau environ, salée à 2,5 %.

On aplatit alors le pâton sous forme d'une plaque épaisse d'un demi-centimètre environ que l'on applique contre la paroi de la cuve préalablement humectée d'eau. L'appareil est mis en route, l'eau coulant goutte à goutte.

L'extraction se fait en plusieurs phases :

1^{re} Phase. — La pâte reste plaquée contre la paroi, s'en décollant légèrement après le passage de chaque ailette et reprenant la même place au passage de l'ailette suivante.

L'eau s'infiltre entre la paroi de la cuve et la lame de pâte.

2^e Phase. — La plaque de pâte s'affaisse sous son propre poids après le passage de l'ailette ; l'ailette suivante l'attaque par la tranche.

3^e Phase. — Les filaments glutineux apparaissent, la matière se plaque à nouveau contre la paroi, mais sous forme de couche mince dans l'intervalle des saillies.

On augmente alors le débit d'eau, de façon à laver les parois et à faire tomber la matière dans le fond de la cuve.

4^e Phase. — La matière n'est plus collante, elle se rassemble sous forme d'une boule qui tourne sous l'action des ailettes.

On lave alors au maximum.

La durée totale de l'opération est de 15 minutes pour 50 gr. de pâte.

Ce temps écoulé, on arrête l'écoulement de l'eau et on laisse tourner à sec pendant 1 minute pour essorer partiellement le gluten.

Il est bon de recevoir l'eau amidonneuse sur un tamis noir garni en soie n° 220, au lieu de l'évacuer directement sans contrôle.

Cela permet tout d'abord de mieux apprécier la limpidité de l'eau à la fin de l'opération.

Enfin, la soie N° 220 retient les piqûres et les fins débris cellulosiques, offrant ainsi un élément d'appréciation de la pureté de la farine expérimentée.

L'élimination de l'amidon, en fonction de la durée de lixiviation, se fait suivant une loi qui, pour le « Glutex », est représentée par la courbe ci-contre (fig. 13), établie sur une farine de blé Manitoba.

Il résulte de ce graphique qu'il est inutile de prolonger la lixiviation au delà de 15 minutes. On altérerait ainsi les qualités plastiques du gluten sans obtenir une épuration sensiblement plus complète.

Il importe peu d'ailleurs, dans la pratique des laboratoires de contrôle, d'obtenir un gluten aussi épuré que possible.

La connaissance du pourcentage de gluten sec ne représentant qu'un intérêt comparatif, il importe surtout que le degré d'épuration soit toujours le même.

Le poids de gluten sec obtenu mécaniquement dans les conditions ci-dessus indiquées, est supérieur d'environ 0,35 % à la moyenne des glutens obtenus par la lixiviation manuelle, ceci pour des glutens mous de blés français.

Pour des glutens de blés demi-durs, l'écart est d'environ 0,50, dans le même sens.

Un gluten insuffisamment débarrassé de l'amidon se distin-

guerait aisément, après dessiccation à l'étuve, par une couleur rougeâtre due à la dextrinisation de l'amidon.

Il serait plus mou et présenterait une forme aplatie, une surface ridée et mate.

Épuration du gluten en fonction du temps de lixiviation

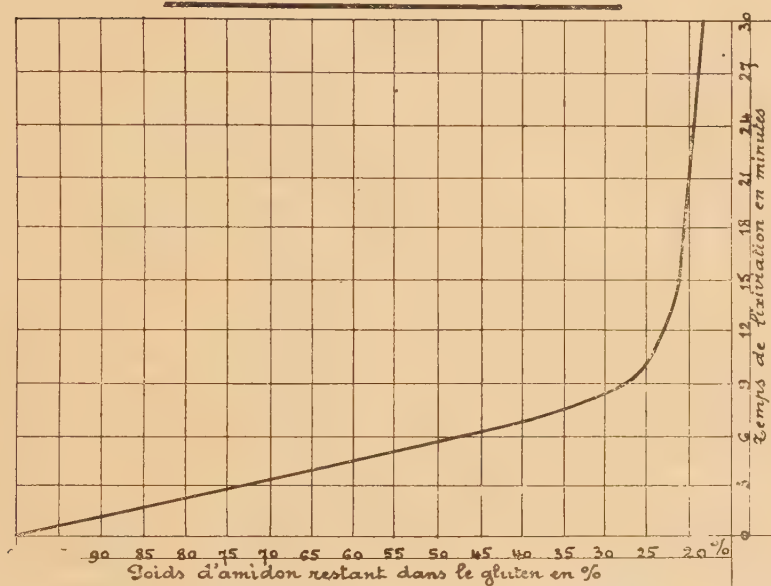


Fig. 13.

Le gluten normalement lavé est jaune verdâtre et garde, après dessiccation, une forme sphérique, une surface lisse et brillante.

Quand il importe de connaître le poids de matières azotées contenues dans une farine, c'est à une détermination directe d'azote, par la méthode de Kjeldahl par exemple, qu'il faut avoir recours.

Microlixiviation. — En enfermant, entre deux lames de verre, un peu de pâte claire obtenue en délayant de la farine

dans une goutte d'eau iodée, on peut réaliser, sous le microscope au grossissement 60 environ, une microlixiviation.

Il suffit de déplacer une douzaine de fois, d'un mouvement de va-et-vient, les deux lames l'une par rapport à l'autre, sans pression, les lames adhérant seulement par l'action capillaire de la pâte interposée.

Dans ces conditions, on voit dans le champ du microscope, le gluten se rassembler sous forme de boudins allongés roulant entre les lames. Ces boudins sont colorés en jaune d'or par l'iode.

On continue l'opération jusqu'à ce qu'ils soient débarrassés des grains d'amidon adhérents. Avec un peu d'expérience, on arrive à les amener au contact, à l'aide d'une aiguille, et à les souder. On peut ainsi évaluer très approximativement la quantité de gluten contenue dans la farine, sa faculté de rassemblement et de cohésion.

En dehors de la masse de gluten et des grains d'amidon, on observe aussi facilement, dans le champ microscopique, les débris épicarpiques et les membranes formant les parois des cellules de l'amande.

Ces feuillets celluloseux, quoique très transparents, peuvent être facilement comptés, en serrant fortement la lamelle supérieure, contre la lame inférieure, en relâchant la pression, en resserrant et ainsi de suite.

Essorage du gluten. — Quand la lixiviation est terminée, le gluten doit être essoré avant pesage.

Suivant la façon dont l'essorage est effectué et l'appareil utilisé, l'eau peut être retenue entre les filaments de gluten en quantité très variable. Il convient donc, pour obtenir des poids de gluten humide concordants, de bien spécifier le mode d'essorage.

L'essorage à la main donne en particulier, des glutens humides accusant un poids inférieur d'environ 4% à celui des glutens traités à l'essoreuse Arpin; le poids de gluten sec est, lui aussi, légèrement inférieur dans le cas de l'essorage à la main.

C'est pourquoi nous préférons pratiquer l'essorage tel que nous l'avons défini à la page 48.

Les glutens destinés à subir des essais de plasticité, notamment à l'Aleurographe, ne doivent jamais être essorés avant l'essai ; l'essorage faisant subir au gluten des efforts qui modifient ses qualités mécaniques.

Hydratation du gluten, par rapport à la matière sèche. — Le gluten humide, après essorage, contient encore 200 % environ de son poids d'eau ; on l'amène à l'état sec par dessiccation, généralement dans l'étuve à air chaud. On obtient ainsi un gel qui est le gluten sec.

Ce gel peut être réversible, si le gluten est desséché à la température ordinaire, irréversible s'il est desséché à plus de 70° environ, la plupart des protéines étant alors coagulées.

La teneur en gluten humide, susceptible de changer avec le gonflement, soumis lui-même à des causes de variation multiples, est une caractéristique pouvant varier de 4 à 5 % pour une même farine.

En desséchant le gluten humide, on obtient le gluten sec dont le poids est une caractéristique pratiquement assez stable d'une farine déterminée.

L'indication du poids de gluten sec sera complétée par celle de son pouvoir de gonflement par l'eau qui est, en quelque sorte, sa caractéristique colloïdale.

Le gonflement a été mis en évidence par Arpin sous le nom d'« hydratation du gluten ». Cette hydratation est définie par rapport au poids de gluten humide sous la forme :

$$\text{hydratation} = \frac{\text{poids humide} - \text{poids sec}}{\text{poids humide}}$$

La quantité d'eau susceptible d'être retenue dans le pain dépend, dans une certaine mesure, de la quantité de gluten d'une farine et du pouvoir d'absorption d'eau de ce gluten.

Voici quelques résultats à ce sujet :

	Pourcentage de gluten sec.	Hydratation	Eau dans la pâte en %.	Eau retenue dans le pain en %.
Farine 1	8,07	62,60	57,50	48,85
— 2	8,91	67,90	63,70	54,15
— 3	7,62	67,10	61,20	52,00

(d'après Arpin et Dumée 1910).

L'eau chimique de gonflement, comme l'eau physique restant interposée capillairement dans le système vacuolaire du gluten, étant plus ou moins éliminée, suivant le mode et le temps de dessiccation, il devra être entendu que le gluten sec est le poids obtenu par dessiccation du gluten humide pendant au moins 12 heures entre 100 et 110°.

La pesée devra être faite aussitôt après refroidissement, car le gluten est hygroscopique. Abandonné à l'air humide, il peut absorber jusqu'à 20 % d'eau.

Toute détermination de gluten sec devrait être pratiquée en tenant compte de l'humidité de la farine.

En admettant, en effet, que le gluten se rassemble de la même façon, quel que soit le degré d'humidité de la farine, ce qui n'est pas rigoureusement vrai, une différence d'humidité de 2 % dans la farine entraîne mathématiquement une différence de 0,20 % dans le gluten sec.

Nous allons, maintenant, passer en revue les différentes influences susceptibles d'agir tant sur le poids du gluten sec que sur son hydratation.

Influences agissant sur l'hydratation. —

a) *Espèce du blé.* — L'hydratation est en moyenne de :

67 à 68 %	pour les blés français,
64 à 66 %	— Manitoba,
64 %	— durs Afrique.

Quand les farines sont avariées, cette hydratation s'abaisse notablement.

b) *Temps de repos du pâton avant lixiviation.* — L'hydratation du gluten atteint un maximum après un temps de repos du pâton variant de 1 à 5 heures (4 heures d'après Arpin) pour les farines de blé tendre. Ces temps sont réduits sensiblement de moitié (2 heures d'après Balland) pour les farines de blé dur.

Si la farine est extraite à un taux plus élevé et est plus acide, le temps nécessaire à l'hydratation maximum semble augmenter légèrement. La granulation de la farine a aussi une influence.

Le phénomène de gonflement étant progressif, sa rapidité

doit, en effet, varier avec la nature du colloïde, avec la granulation du produit colloïdal. Le temps doit donc faciliter l'hydratation.

L'acidité influençant le gonflement, il est explicable, aussi, que les farines anciennes s'hydratent plus lentement.

c) *Température de l'eau de gonflement.* — L'hydratation augmente considérablement avec la température (de 67, 20 à 5° à 68, 30 à 35° — ARPIN).

Cette augmentation très marquée du gonflement avec la température est générale pour tous les colloïdes.

d) *Quantité d'eau de pétrissage du pâton.* — Cette quantité d'eau peut varier dans de très larges limites (40 à 60 % du poids de la farine), sans que le poids de gluten soit influencé.

e) *Qualité de l'eau.* — L'hydratation varie avec le degré hydrotimétrique de l'eau (66, 5 % avec l'eau distillée, 68,3 à 21° hydrotimétrique, 69,9 à 71°, 71 à 141° — Arpin).

En général, elle augmente, mais d'une façon irrégulière variant beaucoup, avec la nature des sels dissous dans l'eau.

L'hydratation augmente également, si l'eau contient du sel marin (cas de la pâte à pain).

De nombreux auteurs, notamment Balland, ont constaté l'action marquée des acides, des bases, des sels, des corps gras. etc... sur l'hydratation.

Certaines observations semblent d'ailleurs contradictoires.

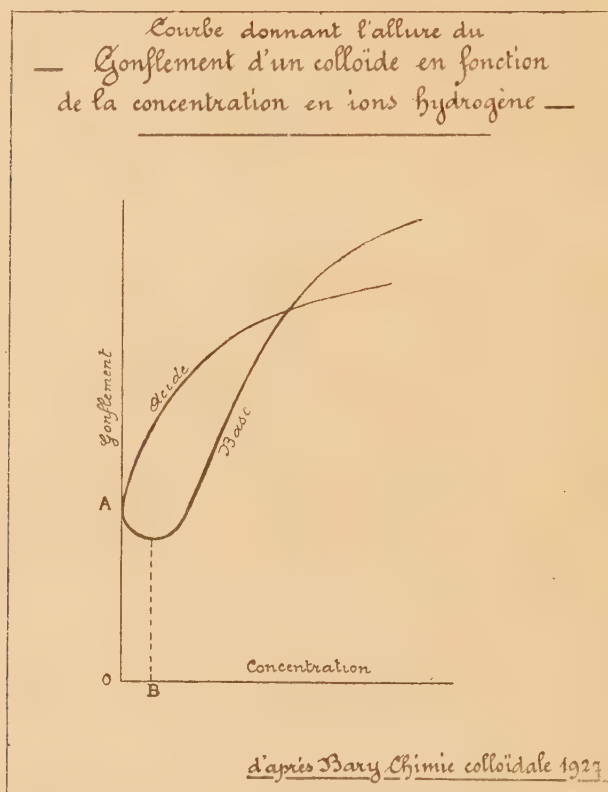
Tout ceci s'explique, si l'on se reporte aux lois générales du gonflement colloïdal.

Le gonflement, et par conséquent l'hydratation, est minimum au point isoélectrique, c'est-à-dire pour un pH. correspondant à la neutralisation complète du corps considéré.

Si l'on s'écarte de la neutralité, dans le sens acide ou dans le sens basique, le gonflement varie suivant une loi dont l'allure est donnée par la courbe d'Ostwald (*Bary. Chimie Colloïdale*, 1927).

Au point représentatif du minimum de gonflement, correspond une certaine concentration basique nécessaire pour neutraliser l'acidité naturelle de la protéine.

Cette courbe n'est valable que pour les très faibles concentrations, de l'ordre de 0,02 N. Pour les concentrations plus fortes, les courbes affectent des allures différentes suivant que l'on a affaire à des acides faibles ou forts, les gonflements produits par ces derniers passant par un maximum.



En tout cas, les acides donnent un gonflement n'allant jamais jusqu'à la peptonisation, tandis que les alcalis peptonisent facilement à $\frac{1}{10}$ N.

Les sels des acides monobasiques facilitent, en général, le gonflement (à l'exception des formiates et des acétates) les sels des acides polybasiques agissent en sens contraire.

Beaucoup de sels ont une action maximum pour une certaine concentration.

Les corps non électrolytes, alcools, aldéhydes, éthers, sucres, agissent aussi sur le gonflement.

Le mélange de corps actifs agit, en général, plus énergiquement sur le gonflement que les corps isolés.

De tout ceci, il résulte que le gonflement est influencé, non seulement par la nature d'un corps ajouté, mais par sa concentration, son état de pureté; c'est ce qui explique les résultats quelquefois contradictoires obtenus par les auteurs.

Il faut remarquer, en outre, que chacune des protéines composant le gluten est influencée différemment et que la composition en diverses protéines de deux échantillons distincts de farine est très probablement différente.

Certains corps augmentent le gonflement jusqu'à produire la dispersion du gluten. Kent Jones croit que, dans ce cas, c'est la gliadine qui est dispersée, la gluténine privée de son liant perdant, en même temps, toute cohésion.

Wood a pensé que les variations de cohésion et d'élasticité du gluten étaient attribuables à l'état d'acidité ou de salinité du milieu environnant, cet état se formant dans le grain de blé pendant la maturation.

f) *Ancienneté de la farine.* — On a attribué à l'augmentation d'acidité, caractéristique de l'ancienneté d'une farine, la diminution que l'on constate dans son hydratation.

Ceci est en contradiction avec la loi générale exposée plus haut.

Il est donc probable que d'autres facteurs dominants interviennent en sens contraire de l'acidité.

La dispersion allant jusqu'à empêcher le rassemblement du gluten augmente avec l'ancienneté et l'acidité de la farine.

Jessen Hansen (*Etudes sur la farine de froment, 1911*) a extrait le gluten de farines anciennes progressivement neutralisées. Voici les résultats qu'il a obtenus :

Farine A		N/5 Na OH.	Eau.	
25 gr.	+	0 cc.	15 cc.	a) Le gluten ne peut être obtenu.
25 gr.	+	2,7 cc.	12,3 cc.	b) Pas de gluten, mais tendance de la masse pâteuse à s'agglomérer.
25 gr.	+	5,3 cc.	9,7 cc.	c) 4,5 gr. gluten court.
25 gr.	+	8 cc.	7 cc.	d) 9,8 gr. gluten moins court

Farine B

25 gr.		0 cc.	15 cc.	comme a.
25 gr.		2,8 cc.	12,2 cc.	comme b.
25 gr.		5,6 cc.	9,4 cc.	comme c.
25 gr.		8,5 cc.	6,5 cc.	comme d.

En neutralisant l'acidité, on diminue donc la dispersion, ce que les lois générales nous avaient laissé prévoir.

Gonflement spécifique du gluten, suivant Berliner et Koopman. — D'après ces chercheurs, la faculté de gonflement du gluten dans les acides faibles, serait en relation avec la valeur boulangère de la pâte de laquelle le gluten est extrait.

Un poids déterminé de gluten humide préalablement déchiqueté est jeté dans un tube gradué contenant une solution d'acide faible ; le gonflement, au bout de 2 heures et demie, mesuré par la hauteur de la colonne de gluten et ramené à 1 gr. de gluten humide, est dit « Gonflement spécifique du gluten ».

Un gluten de bonne valeur boulangère donne un gonflement élevé, la solution restant limpide. Un gluten médiocre ne gonfle pas et la solution se trouble.

Influences entraînant une variation de la quantité de gluten sec. — Le poids de gluten sec est susceptible de varier, soit par une élimination insuffisante des matières étrangères, soit par des échappées au cours de la lixiviation, soit plus faiblement, avec la nature de l'eau de lavage, par l'adsorption de substances en solution ou par la dispersion de certaines protéines constitutives.

a) *Poids du pâton.* — Quand ce poids est trop élevé, l'élimination de l'amidon est rendue imparfaite, en raison même de l'importance de la masse de pâte.

Il en résulte un poids de gluten sec apparemment plus élevé.

C'est pourquoi il importe de n'opérer que sur des quantités de farine bien définies :

33 gr. 33 pour la lixiviation manuelle.

50 gr. pour la lixiviation mécanique au « Glutex ».

b) *Calibre des grains de farine.* — Le calibre des grains peut s'élever jusqu'à celui de la farine extraite d'une soie 9 XX, c'est-à-dire jusqu'à 0,19 mm environ, sans gêner la lixiviation (1).

Vers 0,21 (soie 8 XX), la lixiviation devient difficile, beaucoup de grains sont entraînés par l'eau sans se rassembler au corps du pâton et viennent se déposer sur la soie.

Si nous remarquons que cette dimension de 0,21 correspond sensiblement à celle des cellules de l'amande farineuse qui ont en moyenne $0,25 \times 0,16$ mm, peut-être peut-on supposer que les cellules intactes sont empêchées, par l'enveloppe cellulosique qui isole leur gluten, de se souder complètement au reste du pâton.

Au-dessus du calibre 0,21, et en particulier pour les semoules, la lixiviation se fait encore plus mal. Elle est gênée par le fait qu'un grand nombre des semoules se détachent de la masse, sans pouvoir se lier au reste, probablement pour les mêmes raisons que ci-dessus.

Cela est d'autant plus sensible pour les grosses particules que le choc du jet d'eau de lixiviation agit sur elles avec une force sensiblement proportionnelle au carré des dimensions, tandis que leur soudure avec les éléments voisins, empêchée par la cellulose, est aussi précaire que pour les petites.

Si, maintenant, les particules de farine sont très fines et blutent, par exemple, à travers une soie 14 XX (ouverture nette 0,110 mm), on observe, surtout pour les farines périphériques, que le gluten se forme par rassemblement d'éléments très petits. Ces éléments se soudent mal à la masse,

(1) Pour obtenir l'ouverture des mailles correspondant à un tamis de N° déterminé, se reporter à l'annexe I.

beaucoup sont entraînés par l'eau de lavage, en même temps que les grains d'amidon.

Le poids de gluten obtenu en est naturellement affecté.

Remarquons que lorsque les grains de farine sont plus gros (tamis 11 XX), le réseau protéique se présente sous forme d'éléments massifs, de dimensions relativement très grandes, de l'ordre de 0,15 mm.

Ces gros éléments gonflent et se soudent entre eux aisément, leur adhésion étant facilitée par leur architecture spongieuse et par la présence des cavités laissées libres par le départ des grains d'amidon

On conçoit que la soudure ne puisse être aussi aisée pour des éléments beaucoup plus petits, des dimensions des grains d'amidon, d'autant plus que ces éléments, provenant du fractionnement du réseau gluténique emplissant la cellule, sont massifs et ne présentent aucune alvéole facilitant leur soudure.

Une farine commerciale complète comprend bien des grains correspondant au 14 XX et même plus fins, mais la présence des réseaux gluténiques cellulaires complets provenant des grains de dimension moyenne (11 XX) leur permet, dans ce cas, de se souder sans difficulté à la masse.

Voici, d'ailleurs, un type courant de granulation pour une farine commerciale :

Plus gros que tamis 10 XX.	10 %
Compris entre tamis 10 et 12 XX.	12 %
Compris entre tamis 12 et 14 XX.	37 %
Compris entre tamis 14 et 16 XX.	20 %
Plus fin que tamis 16 XX	21 %
	100 %

La majorité des grains de farine est donc comprise entre 0,14 et 0,10 mm. Ils sont donc constitués, en majeure partie, par des cellules ouvertes ou fragmentées.

De tout ceci, il résulte que pour lixivier, tant mécaniquement qu'à la main, sans difficultés ni perte de matière, une farine contenant une forte proportion de grains supérieurs à 9 XX (0,19 mm.), il convient de convertir cette farine pour diminuer sa granulation moyenne.

On peut éviter de convertir la farine en provoquant l'éclatement des cellules de l'amande farineuse. Pour cela, il convient de confectionner le pâton plus humide que normalement, puis de le laminer une dizaine de fois entre deux cylindres écartés de 1,5 environ et de le laisser reposer une heure environ avant la lixiviation.

De même, pour opérer sur une farine en totalité ou en majorité plus petite que 14 XX (0,12 mm), il faut mélanger cette farine avec un poids connu (environ 50%) d'une farine de granulation normale intermédiaire entre 9 XX et 14 XX.

Du poids de gluten recueilli sur le mélange, on déduira naturellement le poids du gluten correspondant à la farine d'addition, poids connu par un essai préalable.

Si le gluten est destiné à un essai à l'Aleurographe, les caractéristiques enregistrées sur le mélange seront sensiblement la résultante des caractéristiques de la farine à essayer et de la farine d'addition.

Ce qui précède explique pourquoi il a été trouvé qu'une mouture trop poussée, ou écrasée au moulin à boulets, influence défavorablement les qualités du gluten (*Arlsberg et Perry. The effect of fine grinding upon flour — Cereal Chemistry, 1925*).

Quand le gluten provient d'une farine surmoulue, il contient moins d'impuretés, son pourcentage de cendres est moins élevé et surtout il s'hydrate moins que le gluten extrait de la même farine moulue normalement. Il est gras au toucher et collant.

Quand la surmouture est poussée trop loin, il est même impossible de rassembler le gluten, conformément à ce que nous avons vu plus haut. Les qualités plastiques du gluten sont fortement affectées.

En tout cas, le pain fait avec la farine correspondante est d'un petit volume et d'une texture grossière.

La façon dont la farine est surmoulue influe beaucoup sur les résultats, l'action trop prolongée de cylindres lisses étant moins mauvaise que celle des perplex ou des moulins à boulets.

L'expérience meunière semble indiquer que les farines qui se panifient le mieux sont celles dont la granulation est telle qu'elles blutent à travers une soie 12 XX sur plansichters et 14 XX sur centrifuges.

c) *Impuretés de la farine.* — Les particules étrangères inertes n'empêchent pas la soudure des éléments farineux, pourvu que leur quantité soit assez faible, de l'ordre de 10 %, et leurs dimensions assez petites, inférieures à 9 XX.

Par contre, en additionnant une bonne farine de son pulvérisé, elle prend, par la présence des lipoïdes, les caractéristiques d'une farine basse, la lixiviation devient difficile ou impossible.

En un mot, quand le rapprochement ou le collage des éléments gluténiques composant le grain de farine est gêné ou empêché, le rassemblement du gluten par lixiviation devient difficile ou impossible.

Cet empêchement peut provenir des trop petites dimensions des particules de gluten, de leur gonflement trop lent, de leur isolement par les enveloppes des cellules ou par des particules étrangères quelconques.

d) *Teneur en sels de l'eau de lixiviation.* — L'influence en est très faible, 8 gr. 08 de gluten sec avec une eau à 21° hydrotimétriques, 7 gr. 99 pour 141° hydrotimétriques (Arpin).

Si on emploie de l'eau distillée, la perte de gluten est de 0,4 % environ.

Pour tenter d'éliminer cette cause d'erreur, tant sur le poids de gluten sec que sur son gonflement, on a essayé, à différentes époques, de malaxer le gluten avec des eaux amenées artificiellement à une composition déterminée.

On a notamment employé la liqueur titrée de Fleurent (1905), eau distillée additionnée de 0,01 de carbonate de calcium, puis le gluten humide était rincé pendant 2 minutes dans l'eau distillée, celle de Dill et Alsberg (1924) eau distillée amenée à un pH, déterminé par addition de phosphate de sodium.

La pratique nous a montré que les différences n'étaient pas très importantes pour un même lieu quand la lixiviation était

faite avec l'eau normale de la distribution d'eau de ville (sauf quand il y a excès de javellisation).

Pour rendre comparables les essais d'opérateurs différents, il est cependant préférable d'opérer avec de l'eau tamponnée avec des sels de phosphate, comme l'ont recommandé Dill et Alsberg.

On peut se contenter, dans la pratique, de lixivier avec de l'eau additionnée de 2 % de sel marin exempt de sels de magnésium. On a ainsi l'avantage de se rapprocher des conditions de la panification.

L'emploi de l'eau salée empêche la gliadine de se solubiliser légèrement, comme cela peut se produire avec l'eau ordinaire.

La perte de gliadine intervient, non seulement au point de vue quantitatif, mais entraîne aussi une modification de la qualité du gluten (*Berliner et Koopman. Zeitschrift für das gesamte Mühlenwesen n° 4, juillet 1929*).

Il ne faut d'ailleurs pas perdre de vue que, suivant leur nature, la solubilité des différents constituants du gluten est variable avec la composition de l'eau de lixiviation.

D'une façon générale, le gonflement augmente avec l'acidité et diminue avec la teneur en sels, donc en cendres, d'une farine.

Il en résulte que, pour pouvoir extraire le gluten de farines acides ou rendues telles par la fermentation et pauvres en cendres, il faut employer de l'eau salée.

Si ces mêmes farines étaient riches en cendres, il y aurait compensation de l'acidité et leur gluten resterait extractible à l'eau ordinaire.

e) *Température de l'eau de lixiviation.* — Le poids de gluten sec augmente très sensiblement avec la température : 7 gr. 83 à 5° ; 8 gr. 52 à 35° (Arpin). Ceci est dû à ce que le gonflement étant plus fort à température élevée, l'adhérence des particules est assurée dès le début de la lixiviation, ce qui réduit au minimum les pertes de matière.

Voici d'autres résultats dus à Balland.

Température	0°	5°	10°	14°	25°	40°	50°	60°	70°
Gluten humide en %	0	1,5	16,7	19,2	21,75	25,9	19,2	11,7	6,68

Le maximum de gluten semble obtenu vers 40°. Il semble qu'à partir de cette température, l'excès de gonflement favorisant la dispersion l'emporte sur la facilité de rassemblement des particules.

f) *Temps de repos du pâton.* — Si ce temps de repos excède quelques heures, il y a excès de gonflement, d'où perte de matière à la lixiviation et, par conséquent, diminution du poids de gluten sec cet effet étant particulièrement sensible pour les glutens mous.

Il y aurait de même perte de matière par insuffisance de gonflement, donc d'agglomération, si le malaxage du pâton était insuffisant, cet effet étant surtout sensible pour les glutens résistants.

Il existe, pour chaque gluten, un temps d'hydratation optimum, permettant un gonflement suffisant, sans pour cela amener de dispersion, ce temps étant de l'ordre de 10 à 15 minutes.

g) *Chauffage de la farine.* — Si la température de coagulation des protéines, 70° environ, est dépassée, le gluten coagulé ne se gonfle plus, donc ne se rassemble plus, la lixiviation devient impossible.

Si l'on reste en dessous de la température de coagulation, le gonflement et le poids de gluten sec sont légèrement augmentés, compte tenu, naturellement, des pertes d'humidité occasionnées par le chauffage.

Temps de chauffage à 40° cent.	Humidité Farine en %	Gluten humide obtenu en %	Gluten sec obtenu en %	Hydratation en %
0 (en heures)	15,50	23,25	7,38	68,40
1/2	13,75	24,60	7,83	67,50
1	13	25,95	8	69,20
2	9,25	25,65	7,96	69
5	9	28,20	8,34	70

Examen du gluten sec. — Un gluten sec bombé, à surface lisse, est généralement de bonne qualité.

Les glutens plissés ou affaissés, en forme de cratère, sont, en général, de moins bonne qualité.

Il est bon, avant le séchage, de mouler le gluten humide en

forme de sphère, pour pouvoir évaluer son degré d'aplatissement pendant la dessiccation.

Afin d'apprécier sa déformation, il faut éviter de le fendre au scalpel. La dessiccation du gluten se fait aisément, si l'élévation de température est progressive. On évite, ainsi, la formation de la croûte imperméable qui, pour tous les protéiques, est le gros obstacle à l'évaporation de l'eau intérieure.

Il est possible de dessécher un gluten en trois heures environ à 130° en le portant à l'étuve distendu comme une peau de tambour, sur un manchon légèrement vaseliné.

La couleur du gluten sec est verdâtre, une nuance allant du jaune au brun rouge indiquerait une élimination insuffisante de l'amidon.

Une nuance tendant vers le gris trahit, en général, un gluten provenant de blés de moindre qualité; une teinte noire, un gluten provenant de blés échauffés.

A l'état frais, le gluten doit avoir des reflets nacrés et ne pas adhérer aux doigts mouillés.

Qualités mécaniques du gluten. — Comme nous l'avons vu dans le chapitre I, le gluten est susceptible d'être moulé en une lame élastique dont les qualités mécaniques peuvent être mesurées comme celles d'une pâte de farine, notamment au moyen de l'Aleurographe.

On peut prévoir que ces qualités sont susceptibles de varier très largement, suivant la nature et les variations colloïdales de chacune des protéines composant le gluten. Elles doivent être susceptibles, également, de varier suivant l'évolution des liaisons de ces protéines différentes.

Les tentatives faites par Hankoczy pour mesurer, au moyen d'un appareil mécanique, les qualités mécaniques du gluten (page 19) ne donnèrent pas lieu à des applications dans la pratique des laboratoires.

Jusqu'à ces dernières années, on continuait à apprécier les qualités plastiques du gluten par trituration entre les doigts du gluten humide, au cours de la lixiviation ou aussitôt après.

Ce mode d'appréciation ne donne, évidemment, même entre les mains d'opérateurs exercés, que des résultats nullement comparables entre eux, les opérateurs devant se contenter de traduire leurs impressions en termes imprécis tels que gluten « élastique » — « court » — « cassant » ;

Wood, (*The Chemistry of the strenght of wheat flour*, 1907) et Upson et Calvin, en 1913, (Upson et Calvin. *On the colloïdal swelling of wheat gluten*, 1913) étudièrent l'influence, sur la résistance du gluten, des variations du milieu environnant, notamment de son p H. Ils notaient, pour cela, les différences de poids ou les ruptures spontanées de bandes ou de disques de gluten suspendus dans le liquide.

Nous avons repris les tentatives d'Hankoczy en vue de la mesure objective des qualités plastiques du gluten ; nos efforts ont abouti à la création de l'Aleurographe dont nous avons décrit plus haut le fonctionnement (Chapitre I, page 23).

Les graphiques sur gluten donnés par cet appareil sont caractérisés comme ceux sur pâte (fig. 8 et 9) par :

— l'ordonnée maxima H, correspondant à la plus grande résistance opposée par le gluten à l'effort du gonflement.

— la distance A de l'origine au pied de cette ordonnée maxima, correspondant au volume de la bulle, c'est-à-dire l'allongement du gluten sous cet effort maximum.

— la distance B du pied de l'ordonnée maxima à la verticale passant par le point d'éclatement. La longueur A + B correspond, par conséquent, au volume d'éclatement de la bulle, c'est-à-dire à l'allongement maximum du gluten au moment de la rupture.

Les 2 premières caractéristiques A et H définissent la résistance élastique du gluten.

L'abscisse du point d'éclatement est grandement influencée par toute hétérogénéité de la paroi de la bulle. La longueur B ne peut donc être considérée comme bien déterminée que si elle résulte de plusieurs essais.

Ce qui importe, d'ailleurs, n'est pas tant la position absolue de ce point d'éclatement que la détermination de la pente de la branche descendante de la courbe, branche descendante sur

laquelle s'alignent toujours les points d'éclatement, même dans le cas d'éclatements prématurés.

Dans les fig. 8 et 9 plusieurs courbes sur gluten extrait de farines de qualité différente ont été reproduites.

Elles se présentent, dans l'ensemble, comme les courbes sur pâte.

Une très courte portion de la branche montante, à partir de l'origine, est sensiblement rectiligne. Elle correspond à une déformation élastique. Si la pression se relâche, la lame de gluten reprend sa planéité.

La courbe présente ensuite une convexité tournée vers le haut, c'est-à-dire que, pour une augmentation de pression déterminée, la bulle se gonfle jusqu'à ce que sa tension résistante, augmentée par l'extension, contrebalance la pression nouvelle. Il y a équilibre stable.

Puis, l'augmentation de résistance pour un accroissement déterminé de la bulle va diminuant de plus en plus, la courbe s'infléchit et présente une branche descendante de longueur très variable, s'interrompant brusquement à la rupture de la bulle.

Cette branche descendante, le plus souvent légèrement concave, est quelquefois rectiligne, rarement convexe.

L'ordonnée maxima H de ces courbes, très élevée pour les glutens tenaces du genre Manitoba, est beaucoup plus basse pour les glutens mous de blés français.

Les graphiques permettent donc de définir, avec une approximation très suffisante, les qualités de résistance mécanique d'un gluten.

Les aleurogrammes de glutens différents ne peuvent être comparés sans crainte d'erreur que s'ils correspondent à des glutens lixiviés mécaniquement, sur un appareil et suivant un mode opératoire identique.

La nature et surtout la température de l'eau de lixiviation, la durée de repos du gluten, doivent, en particulier, être identiques dans tous les cas.

Il est indispensable de procéder au moins à deux essais successifs, en divisant en deux parties la masse de gluten.

Le graphique obtenu en premier lieu se place, généralement, un peu au-dessus du second.

Mode opératoire pour la détermination à l'Aleurographe des qualités plastiques du gluten. — Le pàton obtenu par lixiviation mécanique, suivant le mode opératoire exposé à la page 51, est divisé en deux parties approximativement égales et au moyen d'une lame coupante.

Dans toutes les opérations qui vont suivre, ces deux parties doivent être maniées délicatement, à l'aide d'une pince, et être toujours posées sur la tranche correspondant à la section qui vient d'être faite.

L'expérience montre, en effet, que la résistance superficielle de la surface tranchée n'est pas absolument identique à celle de la surface primitive.

Les pàtons reposent dix minutes dans un récipient maintenu à la température constante de 18° (verre couvert disposé au milieu de cristallisoir rempli d'eau) ou mieux dans le bain-marie prévu pour cet usage.

L'Aleurographe ayant été préalablement amené à la température de l'eau de lixiviation, le piston étant à sa position de départ, le cylindre étant plein d'eau, le moteur remonté, chaque demi-pàton est placé sur la platine de l'Aleurographe ; il est serré au moyen du couvercle de fermeture muni de son tampon.

Le tampon est enlevé.

(Toutes ces manœuvres doivent être faites sans précipitation, ni hésitation, de façon à ce qu'à chaque opération elles prennent sensiblement le même temps).

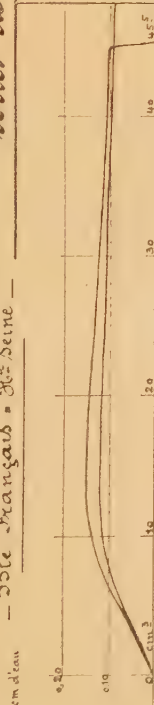
Le moteur est alors mis en marche, le gluten se gonfle sous forme de bulle, tandis que le style trace la courbe représentative de la variation de la pression en fonction du volume de la bulle.

Aleurogrammes correspondant à des glutens provenant de différentes sortes de blés. — Certaines sortes de blés fournissent des graphiques très caractéristiques, à allure nettement spécifique (fig. 14).

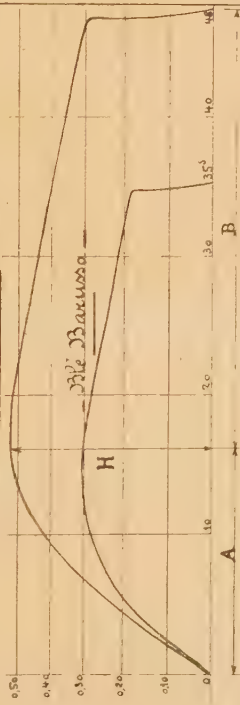
Notamment, le Manitoba se distingue par une tenacité très élevée, 80 cm. d'eau, une forte pente des branches montantes et

Aleurogrammes-types correspondant à différentes séries de blés (sur gluten)

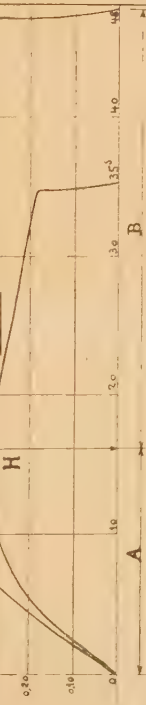
— Blé Français = Blé Seine —



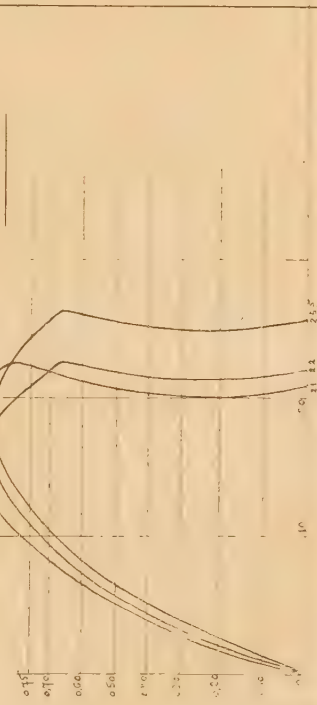
— Blé Hard-Winter —



— Blé Barossa —



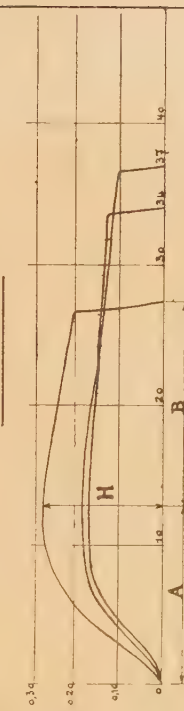
— Blé Manitoba —



— Blé tendre Tunisie —



— Blé dur Tunisie —



— Blé dur Oranie-Maroc —

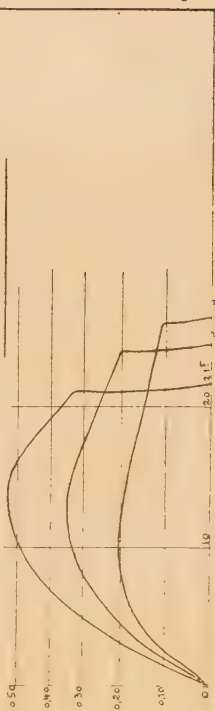


Fig. 14.

descendantes. Le Hard Winter a aussi une grande tenacité, une forte pente montante, la branche descendante est à chute moins rapide que pour le Manitoba.

Les blés français (Haute-Seine), sont de tenacité beaucoup plus faible, (15 cm. d'eau), la branche descendante des graphiques est presque horizontale.

Pour chacune de ces sortes de blés, les aleurogrammes, tout en conservant leur allure typique générale, ont des caractéristiques susceptibles de varier dans de certaines limites avec la variété, l'habitat, l'année de la récolte.

Les sortes de blés constitués par un petit nombre de variétés pures (par exemple le Manitoba constitué principalement par la variété Marquis) donnent des aleurogrammes à caractéristiques bien moins variables que celles des sortes de blés formés de mélanges de variétés, comme c'est le cas pour nos blés de pays.

Les blés durs donnent des graphiques qui, comme les blés tendres, sont susceptibles d'affecter des formes typiques conditionnées surtout par la variété du blé.

Nous n'avons jamais relevé sur les aleurogrammes de gluten de blés durs d'allure vraiment spécifique, différenciant formellement l'espèce blé dur (*Triticum durum*) de l'espèce blé tendre (*Triticum vulgare*). Cependant, un grand nombre de variétés de blés durs donnent, généralement, des courbes de caractéristiques $\frac{55}{55 + 55}$, c'est-à-dire pour lesquelles les distances A et B sont sensiblement égales entre elles, et égales à la tenacité H, comme c'est le cas pour les blés durs Oranie-Maroc.

En outre, la branche montante, généralement convexe, pour le blé tendre, est quelquefois concave au départ de l'origine pour le blé dur. Elle s'infléchit par la suite, présentant ainsi une double inflexion. La branche descendante est aussi souvent légèrement concave.

Glutens coriaces. — **Glutens mous.** — Les glutens à grande tenacité et à faible élasticité, du type Manitoba, sont

dits « coriaces ». Ils sont peu plastiques et opposent une grande résistance élastique à toute tentative de déformation.

Les particules gluténiques qui les composent s'agglomèrent difficilement en masse et l'ensemble se présente sous la forme d'une masse filamenteuse sans homogénéité.

Dès que l'éprouvette de gluten est dégagée du moule, les éléments se rétractent en provoquant des inégalités d'épaisseur.

Au cours du gonflement, la bulle semble formée d'une série de feuillets superposés. Ces feuillets cèdent souvent irrégulièrement, formant des amincissements localisés. Des hernies se développent, déformant la bulle et faisant tomber la pression.

Il en résulte des irrégularités au cours des essais.

Les essais sur glutens « coriaces » sont ainsi les plus délicats. Leurs résultats ne doivent être considérés comme certains que si la bulle se gonfle régulièrement, conservant une allure bien sphérique et une paroi bien homogène.

La prolongation du temps de repos diminue la tenacité du gluten et lui fait perdre la structure fibreuse.

Aussi, pour faciliter les essais sur glutens « coriaces », nous avons été amenés à prolonger le temps de repos de ces glutens avant essai à l'Aleurographe. De 10 minutes pour les glutens normaux, le repos est porté à 30 minutes pour les glutens coriaces.

Bien entendu, dans les comparaisons entre plasticité de glutens différents, il est tenu compte des différences éventuelles entre les durées de temps de repos avant essai.

Les glutens peu tenaces et très élastiques, autrement dit les glutens « mous », ont presque toujours une faculté d'hydratation élevée, voisine de 69 %, tandis que les glutens « coriaces » ne s'hydratent guère qu'à 65 %.

On est donc amené à penser que les qualités plastiques très variables des différents glutens peuvent être dues à leur faculté différente de gonflement, en même temps qu'à une constitution originelle différente.

Dans ces conditions, étant donné les multiples influences

susceptibles d'agir sur le gonflement des corps colloïdaux, il ne paraît pas illusoire d'essayer de transformer un gluten faible en un gluten fort.

Aleurogrammes de glutens provenant de farines extraites à des taux d'extraction différents. — La tenacité et l'élasticité du gluten diminuent avec l'augmentation du taux d'extraction (fig. 16).

L'aplatissement des aleurogrammes s'accroît rapidement aux environs d'un taux d'extraction de 60 % environ. Il semble que ce pourcentage de farine provienne d'une portion centrale du grain sensiblement homogène en qualité et que, ce taux d'extraction dépassé, on s'attaque à une zone périphérique du grain de qualité d'autant plus différente que l'on s'éloigne davantage du centre.

Le pouvoir d'hydratation du gluten augmente considérablement vers le taux d'extraction de 60 %. Il faut probablement voir là une des causes de l'abaissement de la tenacité.

De ce qui précède, il résulte qu'un même blé, écrasé sur des moulins différents, ne donne des glutens de qualités mécaniques identiques, même si le taux d'extraction est équivalent, que si les appareils sont identiques en tous points, notamment en ce qui concerne le mordant des cannelures de cylindres, l'état des soies de blutage, etc...

Des essais réalisés sur des moulins semblables, mais non rigoureusement identiques, ne peuvent donner que des résultats approchés, ne serait-ce que par l'influence des lipoïdes introduites en quantité différente (page 46).

La pression et l'échauffement que subissent les fragments d'amande farineuse entre les cylindres augmentent la tenacité aux dépens de l'élasticité, c'est-à-dire tendent à rendre le gluten court et cassant.

Il importe donc que la mouture des grains dont on veut connaître la qualité du gluten, soit conduite avec grand soin et d'une façon toujours identique.

Amidon de blé. — Si le gluten est, par les qualités mécaniques qu'il communique à la pâte, le constituant le plus

remarquable de la pâte de farine, l'amidon en est, en poids, le constituant le plus important.

Il résulte de la condensation dans le grain de blé, d'hydrates de carbone solubles, sous forme de granules ovoïdes aplaties, enchâssées dans le réseau protéique cellulaire.

Il entre, pour 90 % environ, dans la composition de la farine. Les granules d'amidon variant de 0,010 à 0,025 m/m, suivant qu'elles proviennent des cellules périphériques ou des cellules centrales de l'amande, sont constituées par de l'amylose facilement dispersable et même soluble, se colorant en bleu par l'iode, renfermée dans une enveloppe résistante d'amylopectine insoluble possédant une faible faculté de gonflement.

L'amylose et l'amylopectine ne sont peut-être que les variétés différemment condensées d'une même substance (André — *Chimie Agricole*).

La densité de l'amidon est plus grande que celle du gluten.

En ce qui concerne les qualités plastiques de la pâte, on considère pratiquement, tant que l'enveloppe d'amylopectine est intacte, le grain d'amidon comme une substance plastiquement inerte, n'intervenant dans la liaison de la pâte que par son action de surface sur l'eau de pétrissage. Cette action capillaire n'est d'ailleurs pas négligeable, la surface mouillée de 50 gr. d'amidon atteignant 50 m² (Parrew). De ce fait, une pâte d'amidon fraîchement préparée retient 50 % d'eau environ.

Par dessiccation à l'air, cette quantité d'eau diminue pour s'équilibrer à 20 % environ.

Il arrive fréquemment de rencontrer des farines contenant une proportion notable de grains lésés dont l'enveloppe d'amylopectine est altérée sous l'action d'une mouture trop brutale. Cette enveloppe peut encore être attaquée, au cours du pétrissage et de la fermentation, sous l'action d'acides ou d'alcalis, par les ferments amylolytiques ou par la chaleur humide au-dessus de 70°.

Dans ces conditions, l'amylose mise à nu est susceptible de se gonfler d'eau considérablement et de se disperser, la farine se transforme en une gelée (empois), l'amidon cesse alors d'être une matière inerte pour jouer un rôle colloïdal très important.

Les essais de panification que nous exposons au Chapitre IV mettent, en effet, en évidence, l'influence considérable de la granulation de la farine sur la qualité des pains provenant d'une même farine.

Cette qualité est modifiée, non seulement par le fait que les diastases attaquant différemment les grains d'amidon, suivant leur état d'agglomération ou d'intégrité, l'allure de la fermentation est modifiée, mais aussi par le fait que le comportement plastique de la pâte est influencé.

Quoi qu'il en soit, les différences relevées, pour certaines farines, entre les qualités mécaniques de la pâte et celles du gluten extrait de cette pâte, nous amènent à penser que l'amidon joue un rôle important dans le comportement de la pâte.

Kopaczewsky a montré que le phénomène de rassissement du pain et de ramollissement par chauffage ou congélation à -10° , était attribuable, en grande partie à des modifications du taux d'hydratation de l'empois de l'amidon.

Influence sur les graphiques des différences de constitution des éprouvettes de pâte et de gluten.

— L'amidon contenu dans la farine semble être saturé avec une quantité d'eau voisine de 25 % de son poids sec.

Quand 100 gr. d'une farine à 15 % d'humidité, composée en gros de 90 % d'amidon et de 10 % de protéines, sont amenés à l'état de pâte, 9 gr. environ d'eau de pétrissage suffisent à saturer l'amidon.

L'hydratation du gluten n'absorbant guère que 19 gr. d'eau, les composants de la farine auront acquis leur gonflement avec 28 % d'eau environ.

La quantité d'eau de pétrissage supplémentaire se répartira alors sous forme de films capillaires enrobant les grains de farine, films d'épaisseur très variable suivant la quantité d'eau disponible.

La résistance d'une telle pâte de farine sera alors la résultante de la résistance propre de la matière gonflée d'eau et de la résistance des forces capillaires créées par l'interposition de films liquides entre les grains de la matière.

L'expérience nous montre que cette résistance totale va

s'abaissant avec l'épaisseur des films liquides, c'est à dire avec la quantité d'eau ajoutée à la farine ; elle peut donc être très variable et ceci indépendamment de la résistance propre de la matière.

Au contraire, dans le cas du gluten extrait de la pâte, les micelles des grains protéiques mis en contact direct par l'élimination de l'amidon s'enchevêtrent sans laisser à l'eau en excédent la possibilité de s'interposer entre elles.

Il s'agit, en somme, d'un phénomène de collage.

Dans ces conditions, la quantité d'eau retenue dans le gluten se trouve automatiquement limitée à l'eau de gonflement. La résistance de l'ensemble n'est donc plus influencée par les variations de la quantité d'eau.

Il y a, de ce fait, une différence essentielle dans l'état interne des éprouvettes, suivant qu'elles sont formées avec de la pâte de farine ou de gluten.

L'essai de plasticité sur gluten n'est influencé que par la seule qualité de la matière saturée par son eau de gonflement.

L'essai de plasticité sur pâte est influencé, non seulement par la qualité des protéines en état de gonflement, mais aussi par leur quantité qui conditionne la proportion variable d'eau restant en excédent après saturation des protéines.

Pour des farines comme celles de blé de Manitoba, où le gluten est, à la fois, plus tenace et supérieur de 4 à 5 % en poids à celui des farines de blés français, les différences de plasticité devraient être traduites d'une façon plus marquée par les aleurogrammes sur pâte (à quantité d'eau constante), que par les aleurogrammes sur gluten.

L'expérience montre, au contraire, que les différences entre les tenacités sont environ deux fois plus accentuées par les aleurogrammes sur gluten que par les aleurogrammes sur pâte.

C'est que l'hydratation des glutens de Manitoba (de l'ordre de 65 %) est notablement plus faible que celle des blés français (de l'ordre de 69 %). Cette moindre faculté de gonflement empêche les micelles protéiques de prendre un grand degré de liberté et rend le gluten très tenace.

Dans l'essai sur pâte, au contraire, la quantité supplémen-

taire des protéines, que contient la farine de Manitoba, ne suffit pas à compenser leur moindre faculté de gonflement en ce qui concerne l'absorption totale d'eau.

Il en résulte qu'une certaine quantité d'eau reste sous la forme capillaire, donnant aux grains de farine un certain degré de liberté et affaiblissant ainsi la tenacité générale de la pâte.

En somme, comme l'a déjà fait remarquer Kosutany, la quantité de gluten contenue dans une pâte *n'interviendrait à qualité égale que pour augmenter la tenacité de la pâte*, si l'on opère à quantité d'eau constante, ou à permettre l'addition d'une plus grande quantité d'eau de pétrissage, si l'on veut amener les pâtes à la même tenacité.

Différences pratiques dans l'exécution des essais sur pâte et sur gluten. — Au point de vue pratique, le graphique sur pâte est très fortement influencé par une variation de la quantité d'eau de pétrissage de l'éprouvette.

Quand on opère à quantité d'eau de pétrissage constante, cette quantité d'eau est ajoutée, compte tenu de l'humidité de la farine.

Il nous semble difficile d'admettre que l'humidité totale de la farine, déterminée par dessiccation ou par toute autre méthode, soit due à de l'eau libre sous la même forme que celle que l'on ajoute au moment du pétrissage. La correction que l'on opère sur ces bases nous semble donc très discutable.

Dans ces conditions la difficulté d'opérer à quantité d'eau vraiment constante est une des raisons qui nous a amenés à opérer plutôt à tenacité constante de la pâte, état plus aisé à réaliser pratiquement.

En opérant sur le gluten, toutes les difficultés provenant de la variation de la quantité d'eau sont abolies, puisque l'eau absorbée se réduit presque exclusivement à l'eau de gonflement dont la quantité est automatiquement fixée en fonction de l'espèce du gluten.

De tout ceci, il résulte que l'essai sur pâte donne un résultat global provenant de la combinaison des liaisons internes du

réseau protéique composant le grain de farine et des liaisons externes, en grande partie d'origine capillaire, des grains de farine entre eux.

L'essai sur gluten permet de pousser les investigations plus à fond et de déterminer quel est le facteur particulier influençant la qualité de la pâte, permettant ainsi une correction éventuelle.

CHAPITRE III

RELATION ENTRE LES QUALITÉS MÉCANIQUES DE LA PÂTE, CELLES DU GLUTEN ET L'APTITUDE DE LA PÂTE À LA PANIFICATION

Modes d'appréciation d'un pain. — Fermentation artificielle et naturelle — Travail direct — indirect — sur levain. — Processus du travail direct. Pétrissage et première fermentation. — Tourne et pointage. — Cuisson. — Caractéristiques du pain dépendant des qualités plastiques de la pâte. — Résultats d'essais donnant les relations entre les graphiques et les résultats de la panification. — Corrections à apporter dans les comparaisons de graphiques, du fait du taux d'extraction. — Différences essentielles entre les moutures industrielles et les moutures de laboratoire. — Relation entre les caractéristiques des graphiques et la qualité du pain. — Choix des caractéristiques des graphiques, les plus représentatives de l'aptitude de la pâte à la panification.

Modes d'appréciation du pain. — Dans le cours des chapitres précédents, nous avons étudié les qualités plastiques que doivent posséder les pâtes de farine pour pouvoir donner un « beau pain » c'est-à-dire un pain ayant la meilleure apparence.

Nous avons admis (page 11) que le « beau pain » était le pain le moins dense, c'est-à-dire celui qui, à poids de pâte constant, présentait le volume maximum. En outre, sa coupe devait avoir une forme aussi peu aplatie que possible, c'est-à-dire présenter une périmétrie minima.

La mie doit être régulièrement alvéolée, c'est-à-dire être formée par accolement de bulles de pâte, sensiblement égales, à parois aussi minces que possible, elle doit être exempte, par conséquent, de parties compactes ou de grandes alvéoles.

La mie doit être veloutée à l'aspect et au toucher.

S'il était possible de définir, numériquement, une structure de mie, il semble que l'on définirait du même coup la qualité du pain.

Mohs a classé, dans une série de tableaux (Porenskala) chiffrés de 1 à 10, une série de mies pour lesquelles la grandeur des alvéoles va en décroissant.

Ces tableaux peuvent servir à identifier un type de mie en ce qui concerne la grandeur des alvéoles.

Ils ne peuvent servir à déterminer une finesse de structure, celle-ci étant surtout due à une texture poreuse spéciale des parois des alvéoles, texture dont le détail n'est pas visible à l'œil nu, l'impression d'ensemble intervenant seule pour donner l'aspect « velouté ».

Nous pensons que, soit la faculté d'absorption d'eau, soit l'élasticité à la compression ou à la traction de la mie permettrait plutôt d'exprimer, par un nombre, la finesse d'une texture de mie.

En attendant, nous devons nous contenter de définir, très imparfaitement, la qualité d'un beau pain par son volume et sa forme, suivis d'une note d'appréciation, très grossière, sur sa finesse de structure (1).

Nous allons rapprocher maintenant les résultats de la panification, des qualités plastiques telles que nous les avons définies et déterminées, tant sur les pâtes fraîchement pétries, amenées à leur point de maturation, que sur les glutens.

Nous déterminerons ainsi la part que les qualités plastiques jouent dans la formation du pain et nous mettrons en lumière les facteurs autres que les qualités plastiques, susceptibles d'influencer la formation du pain.

Fermentation artificielle et naturelle. — La masse du pain étant formée d'une mie elle-même faite de l'accolement d'alvéoles, à parois aussi minces que possible, la panification revient à réaliser, dans le sein de la pâte, une production

(1) La photographie rend assez bien la finesse de la mie. Tout essai de panification devrait être complété par la photographie, réalisée dans des conditions bien définies, de la coupe du pain.

gazeuse émanant de centres aussi rapprochés que possible, et cela sans altérer les qualités plastiques originelles de la pâte et même en les améliorant si possible.

Cette production de gaz peut être réalisée chimiquement, la pâte étant additionnée de corps réagissant l'un sur l'autre avec formation de gaz (fermentation chimique ou artificielle).

Elle peut être obtenue physiquement par pétrissage avec de l'eau sursaturée d'un gaz dissous (*Procédé de l'Aerated Bread Cy*).

En France, le gaz de gonflement est le plus souvent de l'acide carbonique formé par l'action d'une fermentation alcoolique produite par des ferments saccharomyces introduits dans la pâte. Sous leur influence, les sucres existant dans la farine ou formés dans la pâte humide, aux dépens de l'amidon, par les diastases saccharifiantes de la farine, entrent en fermentation alcoolique avec dégagement d'acide carbonique (fermentation naturelle).

Travail direct, indirect, sur levain. — La fermentation naturelle peut être réalisée :

soit par un travail direct : on ensemente la totalité de la pâte de la quantité de levure de grains nécessaire.

soit par travail semi-direct : on ensemente de levure une fraction de la pâte dans laquelle on laisse les ferments se développer (poolish). Cette fraction de pâte, en pleine évolution fermentative, est alors mélangée à l'ensemble de la pâte.

On réalise ainsi une économie notable de levure.

soit par travail sur levain : on conserve sur chaque pétrissée une partie de pâte fermentée dont on dirige l'évolution fermentative et qui sert à ensemer les pétrissées suivantes.

Dans ce procédé, les ferments annexes qui évoluent parallèlement à la fermentation alcoolique peuvent influencer la plasticité de la pâte dans un sens favorable ou non.

Ce genre de travail est plus difficile à conduire et donne des résultats plus irréguliers que les autres procédés. Il a l'avantage, quand il est conduit par un patricien habile, de permettre une meilleure panification des pâtes trop molles, par amélioration de leurs qualités plastiques.

Dans le cas de la fermentation artificielle, la production gazeuse pourra être aisément réglée, les gaz pouvant être dégagés soit aussitôt après la formation de la pâte, soit au moment de la mise au four, sous l'action de la chaleur.

Dans tous les cas, la fermentation artificielle pourra être accélérée à volonté.

Si l'on emploie la fermentation naturelle, les actions diastiques et saccharifiantes sont beaucoup plus lentes. L'évolution de la fermentation exige toujours, dans ce cas, un temps appréciable, susceptible de varier dans de très larges limites, suivant les conditions opératoires.

Parallèlement à l'évolution de la fermentation, il faut considérer maintenant l'évolution physico-chimique de la pâte.

Nous avons vu (*Chapitre I, page 34*) que sa mise en état de maturation est fonction d'un certain travail de pétrissage et aussi d'un certain temps d'imbibition.

Cette maturation qui correspond plastiquement à une sorte de palier dans l'accroissement rapide de la tenacité et de l'élasticité de la pâte, est un état de stabilité toute relative. La pâte continue à se modifier plastiquement ensuite, mais beaucoup plus lentement.

Il est possible, comme cela résulte de certains de nos essais de plasticité, que cette évolution subséquente ait peu d'influence sur la formation d'une grosse bulle à parois relativement épaisses, gonflée rapidement comme celles que nous formons dans nos appareils de mesure.

Il est probable, par contre, que la formation des très fines bulles gazeuses, beaucoup plus délicates, formant la mie, est influencée par l'évolution lente qui suit la maturation, notamment en ce qui concerne la minceur et la permanence de leurs parois qui forment les alvéoles de la mie.

Un certain temps d'évolution, dont la durée est sous la dépendance de multiples conditions, semble donc devoir suivre la maturation pour permettre à la pâte de donner une mie de structure assez fine.

Dans la panification par fermentation naturelle, nous assistons donc à deux évolutions parallèles, d'une part celle de la plasticité de la pâte, d'autre part celle de la fermentation.

Cette dernière progressant très différemment avec la nature de la farine, celle de la levure et suivant les conditions extérieures.

Les choses se compliquent, en outre, du fait que la fermentation réagit sur l'évolution plastique et l'influence d'une façon variable, suivant son degré d'avancement.

Cette action de la fermentation sur la plasticité est due, d'une part à une modification de l'état du milieu, notamment du pH., agissant ainsi sur les propriétés physico-chimiques de la pâte, d'autre part à l'action des diastases amylolytiques et surtout protéolytiques, ces dernières tendant, d'une façon générale, à abaisser la tenacité de la pâte.

Remarquons que, dans ce cas comme dans beaucoup d'autres, la nature a voulu une sorte d'auto-compensation en ce sens que les pâtes de blé tendre de pays, à maturation rapide, sont justement celles où, par suite notamment de la nature des grains d'amidon et de la présence de diastases saccharifiantes en plus grande quantité, la fermentation évolue le plus rapidement.

Dans les blés demi-durs ou durs, au contraire, la plasticité optima est plus longue à acquérir, mais l'amidon, plus difficilement saccharifié, ne donne naissance que plus lentement au gaz carbonique.

Le travail de panification devra donc être conduit de façon à ce que le temps nécessaire à la fermentation et celui nécessaire à l'évolution de la pâte soient en harmonie. L'art du praticien consistera, en agissant sur l'un des nombreux facteurs sous sa dépendance, à assurer constamment la concordance de cette double évolution.

Processus du travail direct — Pétrissage et première fermentation. — Ces principes exposés, voici maintenant la succession des opérations dans la panification sur levure, dite travail direct, qui est la panification employée pour nos essais et par la plupart des boulangers urbains.

La farine est pétrie avec de l'eau dans laquelle ont été préalablement délayés le sel et la levure.

Ce pétrissage a pour but de mélanger intimement eau et

farine et de provoquer ainsi l'hydratation régulière des grains. Il est opéré mécaniquement par des appareils qui malaxent la pâte en la soulevant, de façon à inclure de l'air dans sa masse et favoriser ainsi la reproduction de la levure.

Il n'est pas inutile d'insister ici sur le fait que, sous un même poids, l'activité des levures est très variable.

D'où la nécessité de ne conduire les essais de panification que par couples ; en comparant une farine de qualité connue à la farine à essayer, les deux pâtes étant formées avec la même eau à laquelle levure et le sel ont été préalablement mélangés.

Le pétrissage est généralement fait en deux « frases » séparées par une période de repos. Cette manière de faire facilite l'hydratation sans nécessiter un excès de travail, nuisible à la plastique de la pâte. Elle permet, en outre, de se rendre compte, après la première frase, du pouvoir d'hydratation de la farine et d'achever le dosage de l'eau, en conséquence, pendant la deuxième frase.

Le praticien a besoin, en effet, d'obtenir, quelle que soit la farine employée, une pâte ayant une tenacité finale toujours identique, déterminée par le genre de pain qu'il désire obtenir.

Le pétrissage terminé, la pâte est laissée en repos pour la première fermentation.

Elle continue alors lentement son évolution plastique. La levure se multiplie en même temps que les diastases saccharifient les amidons.

Cette première fermentation est, en somme, un stade préparatoire pendant lequel s'élaborent les éléments qui permettront la fermentation alcoolique.

Ce temps de repos peut être coupé par des périodes de pétrissage très court, des « tours » qui, par apport d'air frais dans la masse et renouvellement des parties en contact, activent la fermentation quand elle a tendance à se ralentir, et, par action mécanique, redonnent de la tenacité au réseau protéique.

Quand le boulanger estime, par le toucher, que l'évolution de la pâte est suffisante, qu'elle est à la fois élastique, non collante et que la fermentation est assez amorcée, il la divise en pâtons correspondant aux pains à obtenir.

Tourne et pointage. — Chaque pâton subit alors un court travail de compression, puis il est façonné suivant la forme des pains à obtenir, c'est l'opération de la « tourne ».

La « tourne » ne doit pas être considérée comme un simple découpage de la masse de pâte ; elle modifie profondément la plastique de la pâte et l'allure de la fermentation.

Par son action mécanique, la tourne agit d'abord sur le réseau gluténique de la pâte pour augmenter sa tenacité et diminuer son élasticité. C'est un phénomène que nous avons déjà signalé à propos du gluten.

Nous pensons qu'elle agit ensuite en rapprochant les parois des bulles gazeuses, en ressoudant partiellement ces parois et en comprimant les gaz qu'elles contiennent.

La pâte diminue ainsi de volume et se trouve, en quelque sorte, en l'état d'une masse de matière dans laquelle est accumulé un potentiel d'énergie interne, tant du fait de la compression des gaz que par suite de la tension interne prise par la pâte à la suite du travail auquel elle a été soumise.

Il s'ensuit que, quand la pâte sera portée au four, on assistera à un développement brusque de son volume, à une sorte de détente.

Enfin la tourne en formant le pâton lui redonne un « épiderme » et efface les « blessures » produites lors du découpage de la pâte.

On évite ainsi les tensions inégales qui se produiraient au cours du développement ultérieur du pâton entre des masses de pâte dans lesquelles l'évolution plastique et l'évolution fermentative a été différente.

La pâte tournée en pâtons subit alors un deuxième temps de repos, plus court que le précédent, permettant la pleine évolution de la fermentation. C'est la deuxième fermentation ou « pointage ».

On enfourne le pâton quand le point favorable, décelé par le toucher et l'aspect du pâton, est atteint.

Cuisson. — La chaleur du four exalte tout d'abord la fermentation, puis dilate les bulles de gaz disséminées dans la

pâte ; le pâton, dont le volume n'avait que peu varié depuis sa formation, se développe brusquement.

Pour les pains d'essais moulés en demi-sphère, voici les dimensions d'un pâton avant mise au four et du pain cuit :

	Pâton avant mise au four		Pain cuit	
	Base	Hauteur	Base	Hauteur
Farine de blé français extraite à 70 % . . .	126 m/m	32 m/m	148 m/m	64 m/m
Farine de Manitoba ex- traite à 70 % . . .	124 —	34 —	142 —	68 —

La base s'élargit de 17 % environ, tandis que la hauteur augmente de 100 % environ.

L'augmentation de volume est donc due surtout à l'étirement du pâton, dans le sens de la hauteur.

La croûte, relativement résistante, qui se forme par dessiccation et par dextrinisation superficielle de la surface du pâton, quand celui-ci est « saisi » par la chaleur du four, générerait ce développement, si le boulanger ne l'avait pas préalablement fendue au moyen de « coups de lame » avant la mise au four.

La profondeur, l'orientation de ces coups de lame ont une importance prédominante sur le développement du pâton au four.

C'est, notamment, grâce à une série de « coups de lame » obliques répartis sur la longueur d'un pâton allongé que les parties fendues peuvent acquérir un développement plus marqué que les parties restées intactes, donnant ainsi un pain, présentant une succession de parties renflées séparées par des étranglements.

L'effet de la chaleur s'accroissant, la croûte se durcit de plus en plus, passe de l'état de gelée à celui de gel de dextrine deshydraté. Puis, la température pénètre progressivement la masse, coagule les protéines et la mie se stabilise dans sa forme définitive.

Le pain est obtenu après 30 minutes de cuisson, à 270° environ.

Caractéristiques du pain dépendant des qualités plastiques de la pâte. — L'étude du processus de panification nous permet de prévoir dans quelle mesure les qualités plastiques de la pâte influenceront les caractéristiques du pain.

Le volume du pain dépendra, semble-t-il, avant tout, de la bonne évolution de la fermentation. En ce qui concerne les qualités plastiques, il suffit qu'elles soient telles que le développement ne soit pas empêché, soit par manque d'élasticité, soit par excès de tenacité ou de perméabilité.

En somme, la fermentation jouerait, dans le volume du pain, le rôle actif, le rôle de la plastique étant passif.

Les différences de forme dépendront des qualités plastiques. Elles seront peu sensibles pour les pâtons avant enfournement, le gonflement étant encore très réduit, elles s'accroîtront considérablement au moment du développement dans le four.

Ainsi, pour les pâtons nous ayant servi de témoins pour la mesure du développement au moment de la mise au four, la forme = $\frac{\text{hauteur}}{\text{base}}$ qui était sensiblement la même pour le pâton de blé de pays, 0,25, que pour le pâton de Manitoba, 0,27, devient, pour le pain après cuisson 0,43 pour le blé de pays et 0,48 pour le Manitoba.

La texture de la mie sera conditionnée essentiellement, elle aussi, par les qualités plastiques. Une pâte manquant d'élasticité ne peut se prêter à un étirage suffisant pour la formation de cellules à mince paroi. Elle ne peut donner qu'une mie parsemée de grandes cavités séparées par des parois grossières constituées par l'accolement des membranes éclatées.

Résultats d'essais donnant les relations entre les graphiques et les résultats de la panification. — Voyons, maintenant, dans quelle mesure les résultats expérimentaux confirment ces déductions.

Dans une série de tableaux, nous avons rapproché, d'une part les graphiques de plasticité sur pâte et sur gluten, d'autre part les résultats donnés par la panification sur les mêmes farines.

Dans un premier groupe d'essais, nous avons fait varier l'espèce de la farine, le taux d'extraction restant constant.

Dans un second groupe d'essais, nous avons pris, comme variable, le taux d'extraction, les farines étant identiques.

Pour le premier groupe d'essais, nous avons composé une série de farines de qualité progressivement variable, par mélange de farine de Manitoba et de farine de blés français.

Dans ces conditions remarquons que (fig. 15).

Le volume du pain varie peu, quel que soit le mélange.

La forme est d'autant plus aplatie que la proportion de farine de blé de pays est plus grande.

La texture de la mie est d'autant plus fine, plus veloutée à l'œil, plus douce au toucher et à la mastication, plus longue à l'étirage, que la proportion de farine de Manitoba est plus grande.

L'aplatissement $\frac{\text{hauteur}}{\text{base}}$ est d'autant plus prononcé que la proportion de blés de pays est plus grande.

La forme de la section du pain d'essai est très différente. Le pain contenant une forte proportion de Manitoba est renflé, sa base presque plate ; le pain de blé de pays a une apparence flasque, sa base est concave.

L'aspect de la croûte, à l'emplacement de la blessure produite par le coup de lame est très caractéristique.

Celle du pain de Manitoba est unie, les lèvres du coup de lame ne sont pas saillantes ; pour le pain de blé de pays la croûte est, dans le coup de lame, rugueuse, tourmentée, les bords des lèvres sont saillants, elles ont « jeté ».

Par ailleurs la croûte du pain de Manitoba est mince, élastique ; celle du pain de blé de pays épaisse, croustillante.

Le travail de panification est d'autant plus facile, par suite de la bonne tenue de la pâte, que la proportion de Manitoba est plus grande, et cela malgré une absorption d'eau de 67 % pour la pâte de Manitoba et de 60 % pour la pâte de blé de pays.

Ces résultats nous permettent de conclure que le plus beau pain correspond à la farine contenant la plus forte proportion de Manitoba.

Sur les graphiques de plasticité sur pâte, la qualité de la farine de Manitoba se traduit, en opérant à quantité d'eau de

TABLEAU 1

	CARACTÉRISTIQUES DES PAINS D'ESSAI DEMI-SPHÉRIQUE				CARACTÉRISTIQUES DES EXTENSIGRAMMES				CARACTÉRISTIQUES DES ALEUROGRAMMES SUR PÂTE				CARACTÉRISTIQUES DES ALEUROGRAMMES SUR GLUTEN			
	Surface de la section cm ²	Forme de la section = base	Texture de la mie	Bau de pétris- sage % du poids de farine	Hauteur en m/m 10 m/m = 981 baries.	Longueur du diagramme en m/m	Volume de la bulle cm ³	Surface du diagramme cm ²	Hauteur = pression en m/m d'eau	Longueur = Vol. de la bulle cm ³	Surface cm ²	Hauteur = pression en m/m d'eau	Longueur = Vol. de la bulle cm ³	Surface cm ²		
70 % Manitoba 30 % Français.	80	0,54	très fine	66	74	82	440	41	250	37	49	330	40	79		
50 % Manitoba 50 % Français.	77,5	0,49	fine	64	68	77	400	30	240	34	47	180	42	50		
20 % Manitoba 80 % Français.	76	0,47	assez fine	62	47	68	360	17	245	16	40,5	120	44	31		
100 % Français.	75	0,47	ordi- naire	60	39	69	365	15	200	15	8	70	46	47		

pétrissage constante (extensigramme), par des courbes hautes et longues, ayant, par conséquent, une grande surface ; les blés de pays donnent des extensigrammes un peu plus courts, mais surtout moins élevés, par conséquent de plus petite surface.

En opérant à tenacité constante et à quantité d'eau variable (aleurogramme), la longueur du diagramme va diminuant considérablement avec la quantité de Manitoba, la surface de la courbe va donc aussi en décroissant.

Les aleurogrammes sur gluten ont une tenacité qui va s'abaissant régulièrement, en même temps que la quantité de Manitoba diminue, tandis que la longueur de la courbe tend à augmenter. La surface de la courbe va en diminuant considérablement.

Le gluten, d'abord ferme et un peu court, devient donc mou et filant progressivement sous l'influence de la farine de blé de pays ; il évolue donc, en ce qui concerne l'élasticité, en sens inverse de la pâte.

Le tableau de la page 91 rapproche les résultats numériques.

Il résulte, tant de sa lecture que de l'examen direct des différents graphiques, que ceux-ci traduisent parfaitement les différences constatées entre les pains provenant des mélanges de farines.

Les caractéristiques variant le plus largement sont :

Pour l'extensigramme, la hauteur de la courbe, correspondant à la résistance que la pâte oppose au gonflement.

Pour l'aleurogramme sur pâte, la longueur de la courbe correspondant au volume d'air insufflé dans la bulle :

Pour l'aleurogramme sur gluten, la hauteur du graphique ; cette dernière caractéristique étant, parmi toutes celles énumérées, celle qui varie le plus fortement.

Pour le second groupe d'essais, relatif à l'influence du taux d'extraction, nous avons composé les farines extraites respectivement à 65, 70, 73, 75 % d'un même blé de pays pesant 76 kgs à l'hectolitre (fig. 16). L'importance économique de ces essais est considérable, la détermination de la valeur boulangère de la farine en fonction du taux d'extraction conditionnant l'exploitation industrielle des moulins.

Le volume du pain, de même que le rapport $\frac{\text{hauteur}}{\text{base}}$, semble passer par un maximum vers le taux d'extraction de 70 % (1).

Si le volume et la forme du pain sont améliorés jusqu'à un taux d'extraction de 70 %, la texture de la mie va toujours s'altérant au fur et à mesure que le taux d'extraction augmente. De couleur claire, relativement veloutée et élastique pour le taux de 65 %, elle devient grise et granuleuse pour le taux de 70-73 % et surtout de 75 %, le même accroissement de pourcentage produisant naturellement un effet d'autant plus nuisible que l'on approche du taux d'extraction limite.

On peut donc dire que la qualité du pain s'amointrit en même temps que le taux d'extraction augmente.

Sur les graphiques sur pâte, la tenacité va augmentant sur les extensigrammes et l'élasticité en diminuant, avec l'augmentation du taux d'extraction, aussi bien sur les extensigrammes que sur les aleurogrammes.

Le gluten évolue d'une façon générale vers une moindre tenacité.

Comme nous le verrons plus loin, cette opposition d'allure entre les aleurogrammes sur gluten et sur pâte s'explique par la moindre tenacité des glutens provenant de farines périphériques.

En opérant sur pâte, à égale tenacité, l'augmentation du taux d'extraction entraîne une plus grande absorption d'eau de pétrissage, les protéines existant en plus grande quantité dans la farine périphérique.

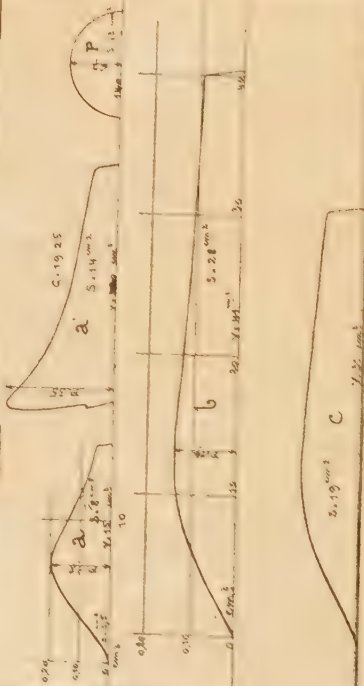
L'évolution du gluten extrait de la pâte fermentée est, comme nous le verrons plus loin, particulièrement caractéristique. Il devient d'autant moins élastique, c'est-à-dire que sa courbe représentative est d'autant plus « courte » que le taux d'extraction augmente.

Toutes choses égales d'ailleurs, le graphique de plasticité du gluten extrait de la pâte fermentée s'abaisse et, par suite,

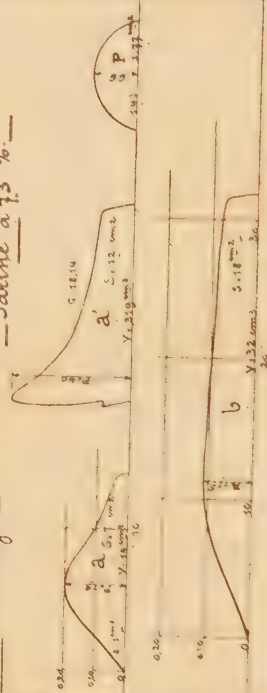
(1) En abaissant le taux d'extraction au-dessous de 50 %, la mie serait très blanche et de texture très fine, mais le pain serait très aplati et de volume nettement plus faible qu'avec le taux d'extraction de 70 %.

Influence du taux d'extraction sur la plasticité de la pâte —

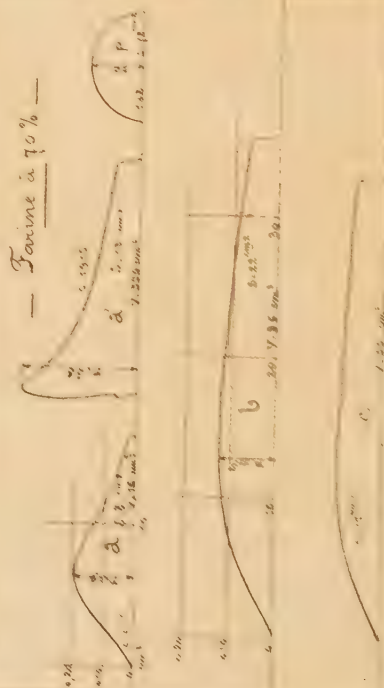
— Farine à 65% —



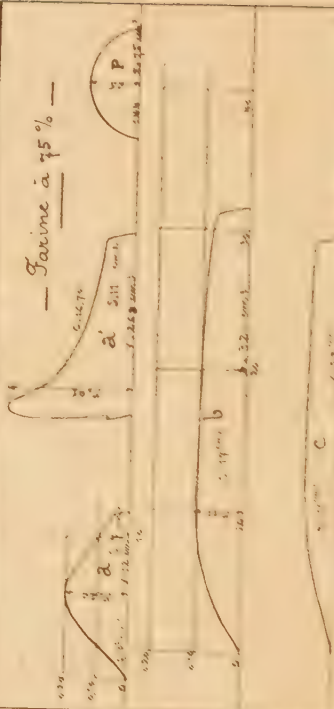
Farines de Blés de Sayo —



Farine à 73 %.—



Farine à 70% —



Farine à 45% —

2. Klassengrammer nur 4000

D. Euterianum 'Chin.'

P. bulions des marnes d'Alsace

1875

TABLEAU 2

	CARACTÉRISTIQUES DES PAINS D'ESSAI DEMI-SPHÉRIQUE					CARACTÉRISTIQUES DES EXTENSIGRAMMES				CARACTÉRISTIQUES DES ALEUROGRAMMES SUR PÂTE		
	Surface de la section cm ²	Forme de la section — hauteur base	Texture de la mie	Eau de pétrissage % du poids de farine.	Hauteur en $\frac{m}{m}$ = 981 baries	Longueur du diagramme en m/m.	Volume de la bulle en cm ³	Surface du diagramme	Hauteur en m/m d'eau	Longueur = volume de la bulle en cm ³	Surface en cm ²	
Extract. 65 %.	73	0,47	fine	60	35	78	400	44	200	45,5	8	
— 70 %.	70	0,49	médiocre	60	38	75	380	43	195	46	8	
— 73 %.	66	0,46	médiocre	61	40	65	350	12	200	44	7,5	
— 75 %.	65	0,45	grossière	61	41	59	320	11	205	42	7	

CARACTÉRISTIQUES DES ALEUROGRAMMES SUR GLUTEN FRAIS				CARACTÉRISTIQUES DES ALEURO- GRAMMES SUR GLUTEN FERMENTÉ			
Hauteur en m/m d'eau.	Longueur = volume de la bulle en cm ³	Surface en cm ²		Hauteur en m/m d'eau	Longueur = volume de la bulle en cm ³	Surface en cm ²	
Extraction 65 % .	140	41	28	140	31	19	
— 70 % .	110	32	22	100	33	17	
— 73 % .	115	33	18	100	32	16	
— 75 % .	110	32	17	50	28	11	

s'écarte du graphique extrait de la même pâte fraîche, d'autant plus que le taux d'extraction est plus élevé.

Il faut voir, dans cet abaissement progressif de la tenacité, l'influence des diastases protéolytiques apportées en grande quantité par les parties périphériques du grain, quand le taux d'extraction est plus élevé.

Le tableau précédent, tableau 2, page 93 rapproche les résultats obtenus.

Il est intéressant de rapprocher ces résultats de ceux qu'avait obtenus Kosutany, par poinçonnage d'éprouvettes de pâte.

Les caractéristiques de son appareil étaient telles qu'il n'obtenait qu'un allongement très petit proportionnellement à la résistance à la pénétration. Les courbes qu'il obtenait se présentaient donc comme privées de la majeure partie de leur branche descendante.

Néanmoins, elles donnent des indications de même sens que les appareils actuels.

En particulier Kosutany avait signalé que les farines donnant des graphiques à branche montante convexe correspondaient à des farines difficilement panifiables. Ces graphiques correspondaient bien à ceux que nous obtenons sur des farines très tenaces et très courtes, du genre des basses farines des derniers passages de la mouture.

En résumé, l'aptitude d'une farine à produire un bon pain, c'est-à-dire un pain de forme normale, à mie fine et longue, est nettement traduite par les graphiques de plasticité fournis par les différents appareils que nous avons utilisés.

La qualité de la farine sera d'autant meilleure, en opérant sur pâte que :

à quantité d'eau constante, la hauteur du graphique sera plus grande, son allongement restant normal ;

à tenacité constante l'allongement du graphique sera plus grand.

Si l'on opère sur gluten, la qualité correspondra encore à une grande surface du graphique jointe à un allongement suffisant.

Les graphiques sur gluten complètent les graphiques sur

pâte, ils permettent de pousser les investigations sur la qualité d'une farine. Ils se ramènent à un certain nombre de courbes types.

Les graphiques sur pâte, au contraire, affectent des allures très variées.

Corrections à apporter dans les comparaisons de graphiques, du fait du taux d'extraction. — Une farine industrielle est obtenue par le mélange d'une série de farines résultant des opérations successives de la mouture. Dans chacune de ces opérations, la farine est détachée d'une région différente du grain par une action mécanique pouvant être elle-même différente.

Chaque farine partielle diffère donc des autres, tant par la forme et les dimensions de ses grains, que par ses qualités physiques et physico-chimiques. Ces différences sont traduites par les graphiques de plasticité, particuliers à chacune de ces farines.

Quand on compare les plasticités de farines extraites à un taux d'extraction identique assez élevé, il est donc essentiel de s'assurer préalablement que ces farines totales proviennent du mélange, en proportions semblables, de farines provenant de passages correspondants.

Il faut, pour cela, que la mouture ait été conduite, non pas de façon identique pour chaque sorte de blé, mais réglée de telle sorte que le même passage de mouture détache, pour chaque blé, une farine provenant d'une région semblable du grain.

Quand les blés sont de nature et de poids spécifique très différents, le réglage de la mouture doit donc lui-même être très différent. La mouture ne peut, par conséquent, être conduite que par un praticien exercé, rompu à toutes les règles de son art et non pas par un opérateur observant un mode opératoire constant.

Différences essentielles entre les moutures industrielles et les moutures de laboratoire. — Les moutures industrielles, pour un moulin donné, sont comparables

entre elles, d'abord parce que les conditions de semblable réglage de la mouture sont assez exactement observées, ensuite parce que le rendement étant relativement élevé, la farine totale comprend la presque intégralité de l'amande farineuse, c'est-à-dire la majorité des passages.

Il n'en est pas de même pour les moutures d'essais conduites dans les laboratoires en vue de l'obtention de la farine nécessaire à la détermination de la valeur boulangère d'un échantillon de blé.

Il faut s'en tenir, dans ce dernier cas, à un taux d'extraction assez bas pour n'extraire que la partie centrale de l'amande, de façon à éviter l'introduction des parties périphériques très variables, en quantité et en qualité, avec le mode de réglage et l'état des appareils.

Ces parties périphériques, étant donné la simplicité des appareils de mouture en usage dans les laboratoires, seraient en effet, à taux d'extraction égal, extraites en beaucoup plus grande quantité que dans le cas d'une mouture industrielle.

D'autre part, étant donné, comme nous le verrons au Chapitre IV, l'influence marquée de légères différences dans le convertissage sur la plasticité, la mouture de laboratoire est faite généralement sur cylindres cannelés, à l'exclusion de cylindres lisses.

Avec les cylindres cannelés, on ne peut obtenir un taux d'extraction suffisant, voisin de 50 %, qu'en multipliant le nombre de passages et en rapprochant les cylindres à l'extrême, ce qui déchire beaucoup les sons et déchiquète les gruaux vêtus.

On introduit, de ce fait, beaucoup de débris périphériques dans la farine, de telle sorte que l'emploi exclusif de cylindres cannelés détruit, en partie, la pureté de la farine que l'on s'est efforcé d'obtenir au prix d'une basse extraction.

Il faut noter, en outre, que les farines obtenues sont toutes des farines de broyage ou des farines de concassage de semoules, c'est-à-dire des farines résultant de l'émiettement de certaines régions bien déterminées de l'architecture cellulaire de l'amande.

Les fins gruaux passent entre les cannelures sans être sensiblement touchés, la qualité de farine qui leur correspond n'est donc peu ou pas représentée dans le mélange final.

Enfin, le tranchant des cannelures est une chose, non seulement très différente entre deux moulins différents, mais aussi très variable pour un même moulin suivant leur état d'usure.

Il suffit que, par suite d'une fausse manœuvre, les deux cylindres cannelés d'un moulin viennent en contact pendant la marche pour que leurs cannulures, aussitôt émoussées, produisent un travail tout différent de ce qu'il était auparavant (1).

Il est probable que des résultats plus constants seraient obtenus en convertissant les semoules et gruaux sur des cylindres lisses dont la pression unitaire standardisée serait contrôlée par l'écrasement de fils métalliques malléables.

Les moutures d'essais de laboratoire, telles qu'on les conduit généralement, sont donc loin d'être à l'abri de critiques et on ne peut admettre, comme suffisamment approchés, les résultats qu'elles donnent qu'après s'être entouré de nombreuses précautions.

¶ *La mouture du blé reste, en tout cas, la cause d'erreur la plus grave pouvant affecter un essai de valeur boulangère de ce blé.*

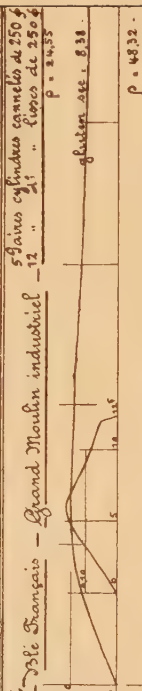
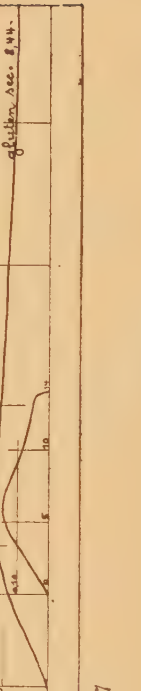
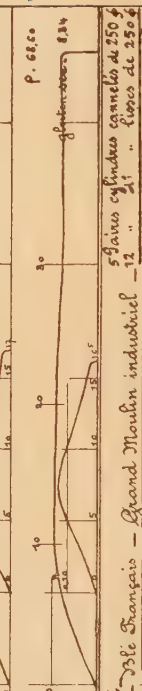
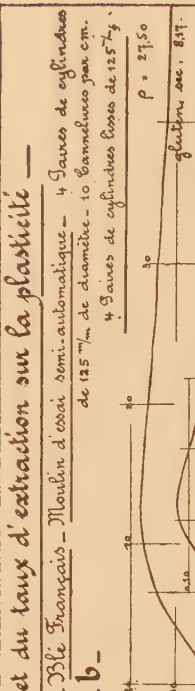
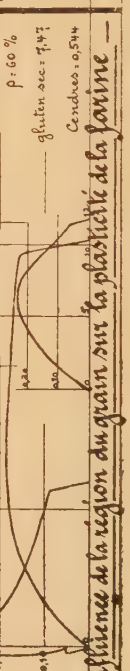
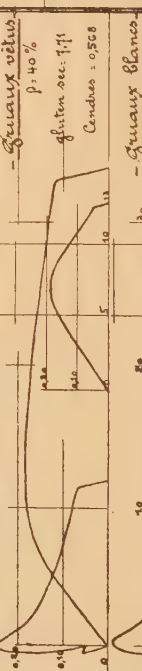
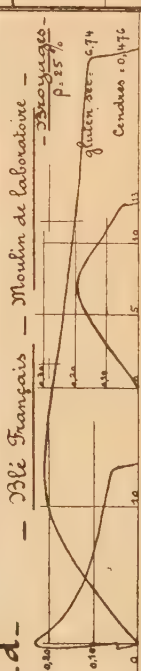
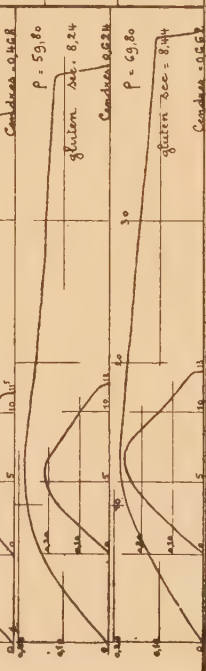
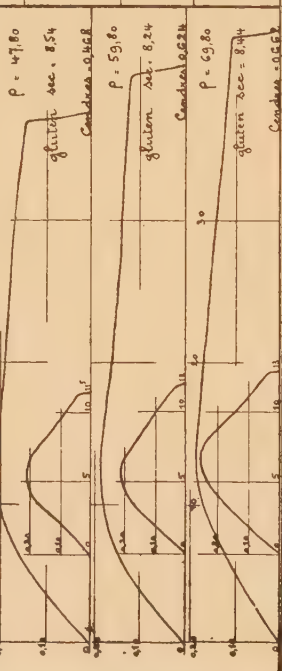
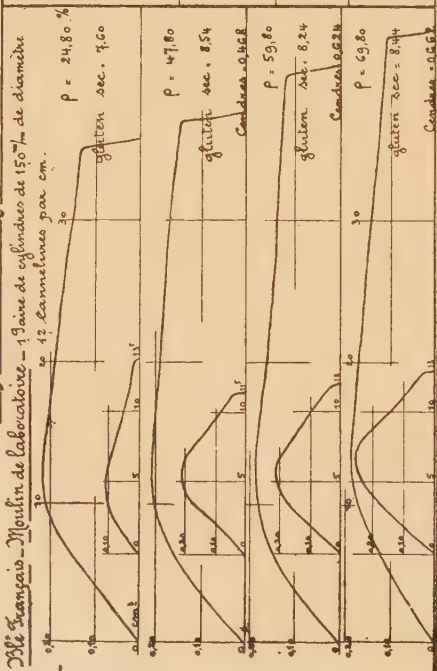
Dans la (fig. 17) nous avons rapproché la moyenne des résultats plastiques obtenus sur des farines provenant du même blé, écrasé à des taux d'extraction progressivement croissants, au moyen de moulins différents.

¶ De ces comparaisons, il résulte que le genre de moulin duquel la farine est issue exerce une influence prépondérante sur la plasticité de la pâte et du gluten, et cela malgré la composition paraissant semblable des farines totales correspondant à chaque taux d'extraction.

La tenacité du gluten et, par conséquent, celle de la pâte va diminuant sensiblement au fur et à mesure que l'on passe du moulin de laboratoire à un moulin semi-automatique tra-

(1) Cet inconvénient peut être évité au moyen de cannelures spéciales dont les dents ne sont pas terminées en pointe, mais par une partie plate.

Influence du genre du moulin et du taux d'extraction sur la plasticité



Les alevogrammes sur pâte ont été faits avec une quantité d'eau constante de 38%.

Influence de la région du grain sur la plasticité de la farine

vaillant à faible charge, avec de longs intervalles d'arrêt, et à un moulin industriel en marche continue.

Il semble donc que la continuité de la marche, la quantité de matière réduite par unité de longueur de cylindres et l'échauffement qui en résulte, soient des facteurs d'altération des farines résultantes.

Pour tous les genres de moulins, les graphiques sur pâte évoluent, comme nous l'avons remarqué précédemment, dans le sens d'une augmentation de la tenacité et d'une diminution de l'élasticité avec l'augmentation du taux d'extraction.

Pour le gluten, la tenacité va aussi diminuant, mais l'élasticité, pour les blés de pays, varie irrégulièrement avec le taux d'extraction.

Une légère variation du taux d'extraction semble avoir beaucoup moins d'influence sur les qualités plastiques, tout au moins dans les environs du taux d'extraction de 50 % que le changement de moulin.

Pour obtenir environ 50 % de farine par une mouture d'essai de laboratoire sur cylindres cannelés, il est nécessaire, comme nous l'avons vu, de traiter le blé en 5 ou 6 passages.

La farine totale résulte ainsi du traitement de trois groupes de produits :

- le blé et les fragments de blé,
- les gruaux vêtus refusés par le tamis 70,
- les gruaux blancs refusés par la soie à farine 9 XX.

Pour la pâte, la tenacité augmente et l'élasticité diminue en passant de la farine de broyage et claquage (*passage I*), à la farine de gruaux vêtus (*passages II et III*) et à la farine de gruaux blancs (*passages IV-V et VI*).

Pour le gluten, l'élasticité va aussi diminuant nettement, mais la tenacité va diminuant légèrement au lieu d'augmenter, comme dans le cas de la pâte.

De tout ceci, nous concluerons qu'étant donné l'influence que des variations minimales dans le mode d'écrasement peuvent avoir sur la plasticité des farines, il est indispensable de standardiser soigneusement appareils et modes opératoires pour

que les résultats obtenus, dans les différents laboratoires, soient comparables entre eux.

Relation entre les caractéristiques des graphiques et la qualité du pain. — Les graphiques de plasticité que nous venons d'étudier ne présentent un intérêt pratique réel que s'ils permettent d'apprécier « a priori », sans essai de panification, la valeur boulangère d'une farine, c'est-à-dire sa faculté de donner un beau pain.

En recherchant donc s'il existe une relation éventuelle suffisamment approchée entre les caractéristiques des graphiques et les qualités principales du pain, c'est-à-dire la forme de sa section et la texture de sa mie, nous touchons donc au point capital de notre étude.

De l'examen des tableaux rapprochant les graphiques des pâtes des résultats de la panification, il résulte qu'une relation étroite entre l'allure du graphique, la plastique de la pâte et la forme du pain existe indiscutablement.

En opérant sur pâte à quantité d'eau constante, on remarque, en effet, qu'à des graphiques élevés à allure bombée, caractéristiques d'une pâte tenace à forte absorption d'eau, correspondent des pains également bombés, pour lesquels le rapport $\frac{\text{hauteur}}{\text{base}}$ a une valeur élevée.

La mie est généralement composée de petites alvéoles à parois fines et élastiques. Le boulanger observe un manque d'allongement lors de la tourne ; par ailleurs, la pâte ferme se laisse travailler facilement.

A des graphiques aplatis, caractéristiques des pâtes molles, à faible absorption d'eau, correspondent, au contraire, des pains aplatis, à mie largement alvéolée, mais granuleuse et courte, provenant d'une pâte s'allongeant facilement, difficile à travailler cependant par suite de son manque de consistance et de sa tendance à coller.

En opérant à tenacité constante, la quantité d'eau supplémentaire absorbée par les farines tenaces est employée à augmenter le gonflement des grains de farine ; la qualité de la

pâte se traduit alors par un plus grand allongement du graphique.

Les aleurogrammes sur gluten ont une allure correspondante aux aleurogrammes sur pâte à tenacité constante ; ils sont élevés pour les farines tenaces, bas et allongés pour les farines faibles. Ils accusent d'une façon plus marquée que les aleurogrammes sur farine les différences de qualité des pâtes.

De ces constatations, il résulte que, toutes choses égales par ailleurs, l'aptitude d'une farine à donner un pain dont la section a une forme donnée peut être exprimée par les caractéristiques $\frac{H}{A+B}$ du graphique représentatif de la plasticité sur pâte ou sur gluten de cette farine.

Une valeur élevée de ce rapport correspondra à une pâte ferme, une valeur faible à une pâte molle. De la qualité de la pâte, ainsi déterminée, on pourra prévoir, avec une forte probabilité, les caractéristiques du pain.

Il n'est évidemment pas possible de relier par une relation mathématique les caractéristiques du pain avec celle des graphiques représentatifs de la plasticité de la pâte, puisque les caractéristiques du pain résultent autant de l'évolution de la fermentation que des qualités de la pâte, mais, pour une méthode de panification déterminée, effectuée dans des conditions normales, on pourra, tout au moins, prévoir que les principales qualités du pain, notamment la forme, la surface de sa section, resteront dans des limites déterminées et que la finesse de sa mie se rapprochera d'un type déterminé.

On pourra également considérer comme établi que les pains provenant de farines de même espèce, mais de qualités différentes, se classeront par qualité dans un ordre décroissant correspondant à une surface décroissante de leurs graphiques représentatifs. Ceci à la condition que les farines soient panifiées suivant une méthode identique.

Précisons, en outre, que ces limites ou types, vers lesquels tendra une pâte de caractéristiques données, seront variables avec l'espèce de blé de laquelle sera issue la farine essayée. Par exemple, des blés durs et des blés tendres de même plas-

tique donneront des pains de caractéristiques un peu différentes, notamment en ce qui concerne l'aspect de la mie.

Cela non seulement parce que l'évolution fermentative sera différente, mais aussi parce que l'alvéolage de la mie est la résultante d'un ensemble de conditions subtiles échappant, pour le moment, à nos mesures.

Pisani-Borg a essayé d'établir une relation éventuelle entre les qualités plastiques d'une pâte en cours de panification et le W de l'extensigramme Chopin relevé sur cette pâte.

Pisani-Borg estime, avec juste raison, que la tenacité de la pâte est mise en évidence au cours du pétrissage, tandis que son élasticité se manifeste surtout à la tourne.

Il a donc relié les mesures extensimétriques aux constatations faite au cours de la panification, en chiffrant l'aptitude, au travail de la pâte par des notes données comme suit :

Premier pétrissage jusqu'à	20
Deuxième — —	40
Tourne — —	20

La somme des notes étant portée en abscisses, les W correspondant en ordonnées, on obtient, malgré l'incertitude résultant de la fixation de l'importance de coefficients arbitraires pour les deux pétrissages et la tourne, une relation pouvant être représentée approximativement par une droite inclinée.

Bien entendu, cette ligne représentative n'est valable que pour une farine d'une espèce bien déterminée.

De tout ceci nous concluons donc que les caractéristiques des graphiques permettent de déterminer « a priori », avec une grande probabilité, les caractéristiques du pain issu de la pâte, étant bien entendu que le rapport entre les qualités du pain et les caractéristiques des graphiques est essentiellement variable, suivant l'espèce de la farine et le mode de panification.

L'essai de panification reste, en dernière analyse, le moyen le meilleur d'apprécier la valeur boulangère d'une farine.

Il ne faut pas perdre de vue, cependant, qu'il serait imprudent de baser une opinion sur un essai de panification isolé,

susceptible d'être influencé par des variations accidentelles dans le travail, les conditions extérieures, l'activité de la levure.

Les essais de panification doivent toujours être faits simultanément sur la farine à essayer et sur une farine témoin et les résultats doivent être notés, non en valeur absolue, mais par différence avec la farine témoin.

En outre, l'essai de panification, pour donner des résultats comparables à ceux qui seront obtenus en boulangerie, doit être conduit sur une quantité de farine de l'ordre de 2 à 3 kgs travaillée sur une installation presque industrielle ; il demande plusieurs heures.

Pour toutes ces raisons, la possibilité que donnent les différents appareils actuellement en usage de se rendre compte de l'aptitude d'une farine à la panification, par un essai de plasticité rapide pouvant être exécuté en laboratoire sur une petite quantité de farine (de l'ordre pour l'Aleurographe de 50 grammes) est donc d'un intérêt pratique évident.

Les progrès accomplis, depuis quelques années, dans l'appréciation des qualités boulangères des farines, correspondent au développement des méthodes de mesure de plasticité.

Choix des caractéristiques des graphiques, les plus représentatives de l'aptitude de la pâte à la panification. — Les caractéristiques des graphiques obtenus au cours des précédents essais, varient très largement.

Les plus grands écarts sont relevés entre les tenacités des extensigrammes et des aleurogrammes sur gluten, entre les allongements des aleurogrammes sur pâte.

Ces variations se traduisent, dans tous les cas, par d'importantes variations de la surface des graphiques.

Il peut donc être intéressant d'essayer la pâte suivant plusieurs procédés de mesure, les variations des caractéristiques étant susceptibles d'être plus marquées avec une méthode qu'avec l'autre.

Il ne semble pas possible, en tout cas, de définir avec un seul nombre la plasticité d'une farine ; ce n'est pas, en effet, un élément déterminé du graphique qui correspond aux

qualités plastiques, mais l'ensemble des caractéristiques du graphique.

Il faudra donc employer, pour la désignation, autant de chiffres qu'il sera nécessaire pour définir suffisamment l'allure du graphique.

En particulier dans le cas des extensigrammes Chopin l'énoncé du W devra être complété par l'indication du G, c'est-à-dire de l'allongement de la pâte.

Pour nos mesures, comme nous l'avons déjà exposé, nous avons retenu trois nombres : la hauteur maxima du graphique, la longueur correspondant à la projection de la branche montante, la longueur correspondant à la projection de la branche descendante.

On pourrait aussi, tout au moins pour les essais sur gluten qui donnent des graphiques se ramenant, comme nous l'avons vu, à quelques courbes types, définir une farine en désignant son graphique représentatif par un numéro de référence se rapportant à une série de courbes types, préalablement déterminées.

CHAPITRE IV

MODIFICATION DES QUALITÉS PLASTIQUES D'UNE PÂTE PAR DES PROCÉDÉS MÉCANIQUES ET PHYSIQUES

Influence du calibre des grains de farine. — Formation des farines par granulation de semoules. — Résistance des semoules à l'écrasement. — Qualités plastiques correspondant à différentes granulations. — Essais de panification sur farines de différentes granulations. — Essais de panification sur différentes granulations d'une même semoule. — Différence de qualités entre les farines issues des différents tamis de plansichters. — Influence de la chaleur et de l'humidité sur la formation de la granulation. — Influence sur la plasticité, du chauffage à l'air libre des farines. — Qualités plastiques des farines de chacun des passages d'une mouture. — Evolution des qualités plastiques des farines pendant la fermentation panaire. — Variation des qualités plastiques de la pâte au cours de la fabrication industrielle des pâtes alimentaires.

Au cours des chapitres précédents, nous nous sommes rendu compte de l'importance avec laquelle les moindres écarts opératoires ou les plus faibles influences extérieures agissaient sur les résultats des essais de plasticité.

Nous allons examiner, maintenant, plus à fond, l'action sur la résistance des pâtes, des influences s'exerçant habituellement pendant la fabrication des farines ou le travail de panification.

Influence du calibre des grains de farine. — Voyons d'abord comment se forme la farine, par granulation des semoules, au cours du convertissage.

Les cylindres d'un convertisseur ont été réglés à un écartement tel (0,55 mm.) qu'ils effleurent, sans la concasser, une semoule calibrée entre les tamis 40 — 45 XX.

La position des volants de serrage correspondant à cet écar-

tement ayant été repérée comme 0, les semoules ont alors été converties en augmentant progressivement le serrage d'un tour de volant à chaque essai.

Après chaque convertissage, le mélange des produits résultant a été calibré par blutage.

Les résultats ont été reportés sous forme graphique dans la fig. 18.

La quantité totale de produits fins, résultant du convertissage, augmente avec le rapprochement des cylindres, la proportion entre les différentes granulations restant sensiblement constante.

Pour un rapprochement de 0,20 mm, les plaquettes apparaissent. Leur apparition coïncide avec la formation de produits passant au travers du tamis 16 XX. Ce sont ces fins produits qui, très probablement, par leur agglomération, forment ces plaquettes.

A partir de ce moment, l'augmentation du serrage ne produit que de l'échauffement, sans augmentation de la proportion de produits fragmentés, compte tenu de ce que les produits refusés sur le tamis 6 XX sont composés surtout de plaquettes qui, par friction (opération du détachage) (1) se résoudraient en produits très fins passant au travers du tamis 16 XX.

Tout ceci pour de la semoule de blé de pays provenant des 1^{er} et 11^e broyages, ayant une humidité de 15,75, les blés étant préparés normalement.

En desséchant la même semoule à 11,75, par séjour pendant 20 heures dans une atmosphère sèche, les résultats précédents sont confirmés, mais la quantité totale de produits fragmentés est, pour chaque serrage, beaucoup plus grande que dans le cas de la semoule conditionnée normalement.

En humidifiant à 16,25 % la même semoule, par séjour de 48 heures dans l'air saturé d'humidité, la quantité totale de produits fragmentés diminue légèrement par rapport à la semoule normale.

Des semoules de blé de pays provenant d'un 111^e broyage, c'est-à-dire formées déjà de la partie périphérique de l'amande,

(1) Annexe I.

donnent, à serrage égal, une moins grande quantité de fragments fins et une plus grande quantité de gros fragments que les semoules précédentes provenant d'un 1^{er} et II^e broyage.

Si l'on traite maintenant, de la même façon, des semoules provenant de blés d'espèces ou de variétés différentes, nous n'observons pas de différence pratique entre les semoules de blés de pays et celles de blé de Manitoba.

Par contre, les semoules de blés d'Afrique donnent une fragmentation très sensiblement moindre à serrage égal.

Dans tous les cas, il apparaît bien qu'à partir de l'écartement 0,20 mm., aucun travail utile n'est plus produit, la fragmentation n'est pas augmentée et les plaquettes refusant sur 6 XX font leur apparition.

La quantité et les dimensions des plaquettes augmentent au fur et à mesure que l'on continue à rapprocher les cylindres.

La quantité de plaquettes est légèrement plus grande pour les semoules de blés de pays, surtout s'ils sont humides, que pour les semoules de Manitoba. Elles ne forment qu'une faible proportion du gros refus pour les blés durs d'Afrique.

Le refus sur le tamis 6 XX ne reste constant, à partir d'un certain serrage, que parce que les plaquettes sont refusées sur ce tamis, en même temps que les fragments réellement plus gros que le 6 XX.

Si l'on désagrège les plaquettes par frottement, on remarque que, pour les semoules de blés de pays, elles se résolvent pour moitié environ en granulations 14-16 XX et pour moitié en granulations < 16 XX, de telle sorte que, après passage des plaquettes dans un détacheur, comme c'est le cas en mouture industrielle, le graphique de granulation en fonction du serrage tendrait vers l'allure indiquée en pointillé au tableau 1, figure 18.

Chaque granulation de farine a un aspect caractéristique. On la met en évidence en disposant les produits côte à côte, par tas coniques formés avec 5 gr. du produit et en imprimant, au support, une série d'ébranlements, de façon à provoquer l'étalement des tas (*fig. 19*).

Plus le produit diminue de grosseur, plus la hauteur des cônes et la pente du talus d'éboulement augmentent.

vertissage de semoules

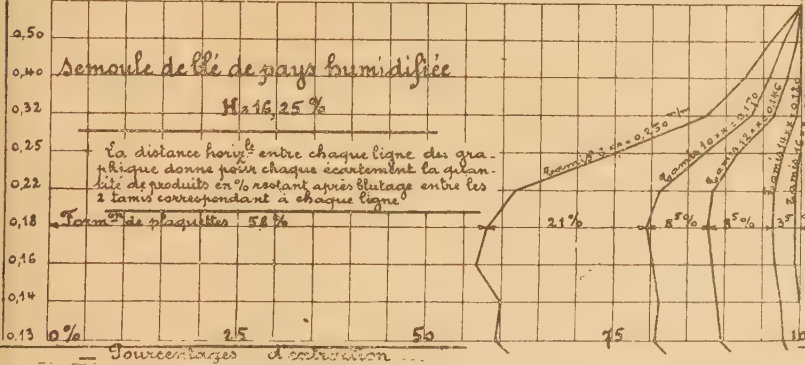
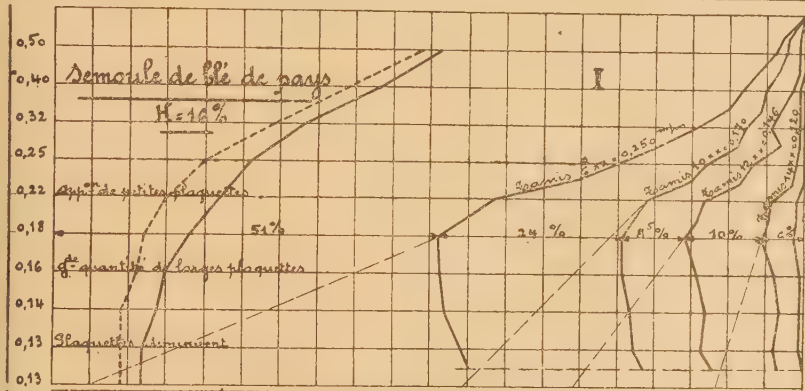
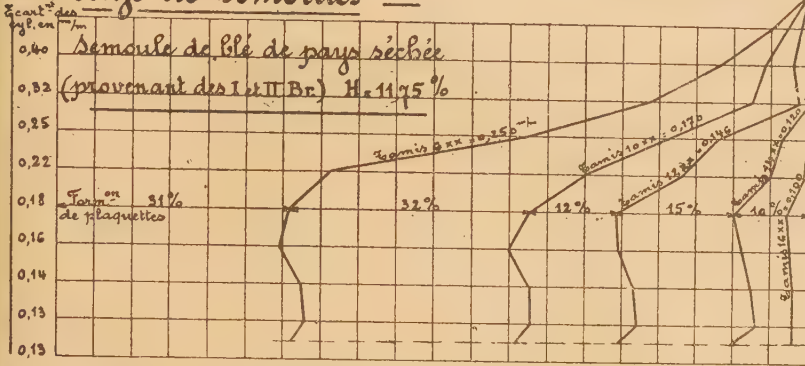




Fig. 19. — Aspect des farines d'après leur granulation.

Les numéros indiqués entre chaque tas de farine, correspondent au numéro des tamis à farine XX au moyen desquels la séparation a été effectuée.

En même temps, la circonférence limitant la base du tas devient irrégulière, les fines granulations ayant une tendance à s'agglomérer en blocs.

Notons encore que les produits > 12 XX ont un toucher sableux et résistent à la pression des doigts. Ils se détachent aisément des doigts quand la pression cesse.

La granulation 12-14 XX fuit sous la pression des doigts, elle a un toucher farineux et adhère dans les empreintes digitales.

La granulation 14-16 XX a un toucher savonneux, fuit les doigts et ne se détache des doigts que par essuyage prolongé.

En résumé, le tamis 10 XX semble séparer nettement les produits en deux classes d'aspect différent ; les produits sableux dits « ronds » et les produits plus fins dits « plats ». Ceci pour les blés tendres français.

Pour les blés demi-durs, de la qualité Manitoba, et les blés durs, cette division est repoussée vers les produits plus fins et se constate vers le 12 XX.

Il ne serait pas impossible que ce changement d'aspect se produise au moment où la granulation devient plus petite que les cellules de l'endosperme.

Les cellules étant alors ouvertes, leur enveloppe s'étale en fragments irréguliers, s'accrochant aisément les uns aux autres, d'où la tendance de la farine correspondante à s'agglomérer en blocs irréguliers.

Examinés à la lumière de Wood, les farines de différentes granulations donnent une fluorescence bleue d'autant moins vive que la granulation est plus fine.

Résistance des semoules à l'écrasement. — La pression entre cylindres, nécessaire pour réaliser le convertissage, doit être importante.

Nous avons réglé, l'écartement à vide des cylindres à 0,25 mm. par mesure de l'écrasement de fils de plomb.

Nous avons, ensuite, alimenté la machine par des semoules calibrées entre les tamis 22 XX et 28 XX, provenant de blés plus ou moins durs.

Le tableau ci-dessous nous montre que, par suite de la résistance des semoules, l'écart entre les cylindres augmente d'autant plus que le produit est plus dur et l'appareil de convertissage plus alimenté.

Cette augmentation de l'écartement se produit surtout par écrasement de la pellicule d'huile de graissage enveloppant les axes des cylindres.

	Convertisseur peu alimenté.	Convertisseur alimenté normalement.	Convertisseur largement alimenté.
ECARTEMENT DES CYLINDRES EN M/M.			
Gruaux Pâtes	0,34	0,37	0,445
Manitoba	0,30	0,31	0,35
Tendre	0,27	0,30	0,335

(Ecartement des cylindres à vide : 0,25 m/m.)

Différences dans la composition des différentes granulations. — Les cellules de l'endosperme, en éclatant sous la pression des cylindres, donnent des fragments dont la composition est très différente suivant leur grosseur.

Les fragments les plus petits sont composés surtout de grains d'amidon emportant quelques parcelles de gluten.

La teneur en protéines est maximum pour une certaine granulation, très variable avec la farine essayée, tandis que la teneur en cendres semble augmenter constamment.

Ci-dessous quelques résultats :

Grosseur de la granulation	Extraction %	Cendres %	Protéines %	Acidité	
FARINE TOTALE		0,397	10,28	856	
Refus de tamis 15 XX	24,8	0,369	10,43	826	Granulations don- nant les pains les meilleurs en texture
Granulation 15-18 XX	7,8	0,398	11	858	
Granulation 18-20 XX	12	0,386	11,17	850	
Granulation 20-22 XX	24,1	0,414	10,72	854	
Extraction tamis 22 XX	31,2	0,425	8,95	810	

(D'après Le Clerc Wesling - Bayley 1919).

Nous avons nous-mêmes obtenu les chiffres suivants :

	Farine de Manitoba taux extraction 55 %		Farine de Manitoba taux extraction 70 %		Farine de Blés français taux extraction 55 %	
	Farine a		Farine b		Farine c	
	Extraction %	Cendres %	Extraction %	Cendres %	Extraction %	Cendres %
Refus sur tamis 10 XX	22	0,372	14	0,403	10	0,376
Granulation 40-12 XX	12	0,383	16	0,426	12	0,411
Granulation 12-14 XX	34,5	0,383	39	0,403	37	0,470
Granulation 14-16 XX	18	0,441	19	0,496	20	0,600
Extraction tamis 16 XX	13,5	0,488	12	0,622	21	0,494
	100 %		100 %		100 %	

Ces observations préliminaires étant faites, voyons maintenant l'influence de la granulation sur les qualités mécaniques de la pâte.

Essais de panification sur farines calibrées suivant différentes granulations. — Dans une première série d'essais, résumés schématiquement dans le tableau ci-dessous, nous avons divisé par blutage une farine industrielle, puis nous avons panifié la farine privée de la partie correspondante à certaines granulations.

Par exemple la farine a. a été composée des 34,5 %, 21 %, 5 %, respectivement calibrés entre les tamis 10-12 XX, 12-13 XX, 13-14 XX. La farine comprenait, par conséquent, tous les éléments compris entre les tamis 10 et 14 XX.

La farine b. a été composée des 37,5 %, 34,5 %, 21 %, comprenant tous les éléments de la farine plus gros que le tamis 13 XX et ainsi de suite.

10 XX	12 XX	13 XX	14 XX	16 XX
37,5 %	34,5 %	21 %	5 %	1 %
		a		
		pain de 62×144 médiocre, fendu, texture normale.		
	b			
	pain de 63×144, bien fen- du, texture serrée.			
		c		
		pain de 60×145, mal fendu, texture normale.		
		d		
		pain de 61×138, mal fendu, texture normale.		
		e		
		pain de 58×152, bien fendu, texture normale.		
		f		
		pain de 63×144, bien fendu, texture normale.		

Essais conduits sur une farine commerciale de blés français calibrée sur centrifuge.

Quand la farine est privée des 37,5 % refusant sur le tamis 10 XX, on obtient des pains aplatis et fendant mal, autrement dit des pâtes dépourvues de rigidité.

Ces défauts s'accroissent au fur et à mesure que l'on incorpore les calibres les plus fins, la pâte devenant alors de plus en plus molle et collante.

On obtient, au contraire, des pains dont la proportion $\frac{\text{hauteur}}{\text{base}}$ va croissant au fur et à mesure que l'on élimine les parties fines, la pâte est plus ferme au travail, elle n'est plus collante. Par contre, la texture est plus serrée, la mie plus grossière.

Les éléments gros, voisins du calibre 10 XX, interviennent donc pour donner à la pâte une charpente solide. Les éléments fins favorisent la fermentation et le fin alvéolage de la mie, donnent un pain de plus grand volume et de mie plus blanche.

Nous avons panifié, d'autre part, la granulation 10 — 12 XX et la granulation 12 — 13 XX seules.

La granulation 10 — 12 XX nous a donné un bon pain 65, $\times$ 144 mm., bien fendu, assez développé, à texture un peu serrée. La granulation 12 — 13 XX, au contraire, a donné une pâte molle, déjà collante, conduisant à un pain (64 $\times$ 152 mm.) à mie plus fine, mais déjà aplati.

Il s'ensuit qu'une bonne farine panifiable ne doit être ni exclusivement « ronde », ni exclusivement « plate », mais se composer d'une proportion harmonieuse d'éléments de différentes grosseurs.

Essais de panification sur des farines de différentes granulations provenant de la réduction d'une même semoule. — Les différences constatées au cours des essais précédents peuvent provenir de différences de qualité entre les granulations, la région périphérique et la région centrale de l'amande du grain ayant une tendance à se fragmenter différemment, suivant une granulation privilégiée pour chaque région.

En conséquence, dans une seconde série d'essais, nous sommes partis d'une semoule épurée, calibrée à 35 — 45 XX et nous l'avons panifiée successivement, l'intégralité de la boulange résultant du convertissage progressivement poussé de cette semoule.

Voici le résultat de ces essais :

Panification d'une semoule 35 — 45 XX. — Le pain résultant (51 $\times$ 129 mm.) est compact, non développé, les coups de lame restent fermés. Mie granuleuse, courte, grossière, jaune, alvéoles petites et régulières.

La croûte est épaisse et sans couleur (conséquence de l'absence de bulles gazeuses normalement interposées entre la croûte et la pâte sous-jacente).

Etant donné la grosseur des grains de semoule, beaucoup de cellules de l'endosperme n'avaient pas été dissociées pendant le travail de panification.

Panification d'une farine, plus fine que 16 XX,
provenant du convertissage des semoules 35-45. —
Cette farine provenait du convertissage de l'intégralité des
semoules, sauf un refus d'environ 0, 5 % composé surtout de
germes.

Le pétrissage a mis en évidence la formation d'une pâte très
liée, très collante, à grande absorption d'eau (76 %).

A la fermentation, la pâte se montre inerte, sans élasticité.

Pain résultant peu développé (57 × 127 mm.) très mou,
croûte fine, colorée, très molle, mie fine, blanche, terne,
moyennement alvéolée ; à goût douceâtre, probablement par
formation de sucres.

L'emploi d'une farine très fine, comme celui d'une granula-
tion très grosse, ne donne pas de bons résultats en panification.

Panification d'une farine à grosse granulation. —
Cette farine était obtenue par le convertissage modéré des
semoules 35-45. On obtenait ainsi le calibrage suivant :

N° tamis à farine XX	Pourcentage d'extraction	
—	—	
54	4 %	} 71,5
60	3	
70	17	
10	47,5	
12	12,5	} 28
16	14	
	1,5	
	99,5	

c'est-à-dire une farine comprenant environ 24 % d'éléments
plus gros que les farines commerciales et dépourvue d'à peu
près 20 % d'éléments fins se trouvant dans cette dernière. Autre-
ment dit, décalée nettement dans le sens des éléments plus gros,
71 % des éléments dépassant la grosseur d'une cellule de
l'amande.

Cette farine, travaillée comme les précédentes, a donné un pain très moyen comme développement, hauteur 60, base 138, et comme texture.

Panification d'une farine de granulation moyenne.

— Obtenue, comme précédemment, par le convertissage plus poussé (4 passages) des semoules 35-45.

Le calibre ainsi obtenu était le suivant :

N° tamis à farine XX	Pourcentage d'extraction
—	17 %
10	16 %
12	26 %
16	41 %
	100 %

C'est-à-dire que 17 % des éléments dépassaient nettement la grosseur d'une cellule de l'amande. Cette granulation est d'ailleurs sensiblement celle d'une farine commerciale.

Nous avons obtenu, dans ces conditions, un pain très bien développé, à mie fine et longue.

Panification d'une farine de granulation moyenne privée de ses éléments fins. — Nous avons voulu savoir à quels éléments étaient dus les excellents résultats obtenus dans l'essai précédent.

Nous avons donc converti à nouveau des semoules 35-45 de la façon suivante :

N° tamis à farine XX	Pourcentage d'extraction
—	13 %
8	13 %
10	23 %
12	32 %
16	19 %
	100 %

et avons panifié la farine ainsi obtenue, d'abord en la privant de ses éléments fins < 12 XX, ensuite en la privant de ses éléments gros > 8 XX et de ses éléments fins < 16 XX, c'est-à-dire en prenant la partie moyenne.

Dans le 1^{er} cas (panification de la partie la plus grosse), nous avons obtenu un pain fendant bien, mais trop ferme, à mie un peu grossière, développant insuffisamment.

Dans le 2^e cas (panification de la partie moyenne), le pain était parfait au point de vue finesse de la mie et alvéolage ; il avait une légère tendance à manquer de fermeté.

Nous pouvons donc conclure qu'une farine doit se composer d'un mélange d'éléments de différentes grosseurs, une composition type donnant d'excellents résultats pour la panification française étant la suivante :

N° des tamis à farine XX	Pourcentage d'extraction
—	—
10	17 %
12	16 %
16	26 %
—	41 %
	100 %

En résumé quand les éléments gros sont en augmentation, le travail de la pâte est facilité, le pain devient plus ferme, son rapport $\frac{\text{hauteur}}{\text{base}}$ croît, il fend mieux, la mie perd en finesse et en légèreté ; ce genre de farine convient le mieux pour la fabrication des pains fendus.

Quand les éléments fins dominant, la pâte absorbe plus d'eau et a une tendance à devenir collante. Le rapport $\frac{\text{hauteur}}{\text{base}}$ diminue, la mie est très blanche, très fine, très longue, bien alvéolée. Ce genre de farine convient mieux aux pains longs, dits de « fantaisie ».

Différence de qualités entre les farines issues des différents tamis de plansichters. — Une farine peut être divisée en partie de différentes qualités, non seulement par blutage à travers des tamis plus ou moins ouverts, séparant les grains suivant leur grosseur, mais aussi à grains égaux, en utilisant le classement par densité.

Cet effet de classement par densité se produit, par exemple, quand une masse de la farine est soumise à des vibrations ou à des secousses alternatives, comme cela se produit sur les tamis des plansichters employés industriellement.

L'effet de ces machines est, par conséquent, très complexe et produit aussi bien un résultat de calibrage par grosseur qu'une sédimentation par densité.

De cette façon, les produits qui traversent la masse de farine et viennent au contact de la soie sont les plus lourds, c'est-à-dire ceux qui proviennent du centre amylicé de l'amande, puisque l'amidon est plus dense que le gluten.

Voici, à ce propos, quelques densités de produits farineux communiquées par Fleurent (*Compte-rendu N° 26 de l'Académie d'Agriculture de France, 1932*) ;

Farine de broyage	1,62
Gruaux blancs	1,59
Gruaux très vêtus	1,38
Sons	1,26

Les produits les plus lourds blutent ainsi à travers les tamis de tête, les produits les plus légers blutent seulement quand les produits lourds ont disparu, c'est-à-dire à travers les derniers tamis.

Les qualités plastiques des farines « de tête et de queue » sont donc très différentes, les dernières étant nettement inférieures.

La présence éventuelle, sur les tamis, de graines de dégomme, trouble cette répartition et modifie par là le classement des farines.

Influence de la chaleur et de l'humidité sur la formation de la granulation. — Nous avons signalé, dès 1930 (1), que les produits de mouture, chauffés dans de certaines

(1) Demande de brevet français N° 269.174 déposée le 25 janvier 1929.

conditions, se classent, au blutage, d'une façon toute différente de celle des mêmes produits crus.

Voici les résultats de quelques essais :

Essai n° 1. — La farine provenant des derniers passages de broyage et de convertissage donne, après chauffage, une extraction, à travers un tamis 10 XX, sensiblement plus forte que le produit cru.

EXTRACTIONS EN $\frac{0}{100}$ DU POIDS DU PRODUIT BLUTÉ
A TRAVERS UN TAMIS 10 XX.

	V ^o Broy.	VI ^o Broy.	Dernier désagreg.	Avant-dernier convertiss.	Dernier convertiss.
Produit normal.	14 %	13,5 %	12 %	14 %	15 %
Produit chauffé.	17 %	16,5 %	16 %	16 %	20 %

Pour chaque farine, l'extraction sur produits traités est supérieure d'environ 25 $\frac{0}{100}$ à celle obtenue sur produits crus.

En outre, pour chacune de ces farines, l'extraction sur produits traités est de teinte sensiblement plus claire que celle en provenance de produits crus. Cette amélioration de nuance étant surtout sensible sur les farines de convertissage.

Essai n° 2. — Pour analyser le phénomène, nous décomposons la farine d'un avant-dernier convertisseur en la calibrant, par blutage, sur un empilage de tamis de plus en plus serrés.

Nous pesons les quantités recueillies sur chacun des tamis, chacune d'elles correspondant à une granulation bien déterminée limitée par le numéro du tamis supérieur au travers duquel elle est extraite et par le numéro du tamis inférieur sur lequel elle a refusé.

Nous traitons séparément, par la chaleur, chacune de ces parties calibrées et nous la reblutons en la remettant sur les tamis supérieurs les plus ouverts.

Calibrage de la farine
avant chauffage

Calibrage de la même farine après chauffage

	8 XX	10 XX	12 XX	14 XX	16 XX
8 — 10 XX	15 %	65 %			20 %
10 — 12 XX	7,5 %	47 %	36 %		9,5 %
12 — 14 XX	6 %	6 %	55 %	22 %	17 %
14 — 16 XX			8 %	50 %	20 %

Nous remarquons alors que la granulation primitive 8-10 XX refuse maintenant sur le tamis 8 XX dans la proportion de 15 % et extrait à travers le tamis 16 % XX dans la proportion de 20 %.

La granulation 10-12 XX donne maintenant, non seulement 47 % de refus sur le tamis 10, mais encore 7,5 % sur le tamis 12 XX, en même temps que 9,5 % extrait à travers le tamis 16 XX, le pourcentage de refus et d'extraction devenant plus marqué au fur et à mesure que la granulation diminue.

Tout se passe donc comme si, dans les éléments primitivement calibrés, certains grossissaient, tandis que d'autres se résolvaient en très fine farine.

On observe que les éléments refusés, à la suite de leur grossissement, se composent surtout des produits les plus bis, tandis que les éléments extraits sont les plus blancs.

C'est ce qui explique comment, dans l'essai N° 1, nous avons obtenu, sur un tamis déterminé, une extraction plus blanche quoique plus abondante.

Mode d'action de la chaleur. — Pour le déterminer, nous traitons simultanément la farine d'un avant-dernier et d'un dernier convertisseur.

A 50° dans une étuve à dessiccation.

A 50° dans la même étuve close et saturée de vapeur d'eau.

A 50° dans un séchoir avec ventilation et nous la blutons sur un tamis 10 XX.

Les résultats sont les suivants :

EXTRACTIONS EN % DU POIDS DU PRODUIT BLUTÉ A TRAVERS UN TAMIS 10 XX

	30 minutes	45 minutes	60 minutes
Traité par ventilation à 50°. .	18 %	19,5	21 %
Desséché à l'étuve sèche à 50°. .	18	19	19
Traité à l'étuve humide à 50°. .	18	18	18

FARINE D'UN AVANT-DERNIER CONVERTISSEUR (EXTRACT. A FROID 18 %)

	30 minutes	45 minutes	60 minutes
Par ventilation à 50°. . . .	19	21	21
Par étuve sèche à 50°. . . .	17,5	18,5	21
Par étuve humide à 50°. . . .	18	18,5	19

FARINE D'UN DERNIER CONVERTISSEUR (EXTRACT. A FROID 18,5 %)

Le traitement à 50/60°, pendant 30/40 minutes, dans un séchoir ventilé, donne les résultats les plus marqués, l'humidité des produits diminuant de 2,5 % d'environ.

L'action est encore accrue, si la durée totale d'application de 30/40 minutes est réalisée par une série d'applications intermittentes entre lesquelles on laisse le produit revenir à la température ambiante.

Elle est aussi de plus en plus marquée au fur et à mesure que les produits essayés sont plus bis, c'est-à-dire sont extraits de parties de plus en plus périphériques, contenant de plus en plus de débris cellulosiques.

Les résultats semblent plus marqués sur tamis de bronze que sur tamis de soie.

L'expérience meunière montrant que le repos modifie le toucher des gruaux « plats » qui deviennent ronds et se laissent alors convertir plus facilement, nous avons recherché si, dans les expériences précédentes, le repos ne jouerait pas un rôle prépondérant.

Son influence est marquée, mais sensiblement moindre que celle produite par le chauffage qui semble hâter considérablement cette évolution naturelle.

Nous pensons finalement que, dans la farine à l'état normal, un phénomène de collage fait adhérer les gelées composant les éléments fins et les éléments cellulosiques. Au fur et à mesure que les gelées sont transformées en gel par la dessiccation, cette adhérence est détruite.

Ceci expliquerait la séparation des éléments fins et par conséquent blancs des éléments bis plus gros.

Ces éléments bis doivent de leur côté subir une sorte de revenu au cours duquel, par élasticité, ils reprennent lentement une partie de leurs dimensions primitives comprimées au moment du convertissage.

Influence, sur la plasticité, du chauffage à l'air libre des farines. — Il est important de connaître l'action de cet effet de chauffage, car il n'est pratiquement pas possible d'obtenir des farines par convertissage sans que le travail de

désagrégation soit la cause d'un échauffement plus ou moins marqué des farines.

En outre, on a souvent à chauffer des farines pour abaisser leur taux d'humidité en vue d'une longue conservation (farines étuvées).

La modification de la plasticité de la pâte due au chauffage est sensible, la tenacité est le plus souvent augmentée.

Les résultats sont assez irréguliers, suivant les produits traités, l'influence du chauffage est incontestable et semble justifier l'intérêt, tout au moins théorique, des procédés tendant à l'amélioration des farines par chauffage ou addition de farine chauffée.

En tout cas, l'hydratation du gluten, naturellement rapportée à la matière sèche, est, généralement, notablement augmentée par chauffage.

Qualités plastiques des farines de chacun des passages d'une mouture. — De tout ce qui précède, il résulte que la qualité de la farine de chaque passage dépend, non seulement de la région du grain de laquelle elle a été extraite, mais encore de la façon dont elle a été extraite, notamment du convertissage et du blutage.

Il en résulte donc que les passages correspondants de différentes moutures industrielles donneront des graphiques ayant une allure commune, mais susceptibles cependant de différer sensiblement avec le réglage de la mouture, notamment en ce qui concerne les farines des derniers passages de convertissage sur la qualité desquelles la pression considérable des cylindres exerce une influence prépondérante.

Nous avons reproduit, dans les fig. 20 et 21, les aleurogrammes et extensigrammes sur pâte des différents passages d'un moulin industriel.

Pour les aleurogrammes sur pâte, nous avons opéré à quantité d'eau constante (33 %). Les farines les meilleures sont celles des premiers convertisseurs (D — E — G — H). L'aleurogramme s'élève par raffermissement de pâte dû à l'augmentation du gluten et se raccourcit pour les derniers convertisseurs (L — M — N).

Plasticité des différents passages de la mouture

cm d'eau.

II Br - Cendres = 0,697.

III Br - Cendres = 0,441.

III Br - Cendres = 0,525.

IV Br - Cendres = 0,518.

IV Re - Cendres = 0,670.

V Br - Cendres = 0,14.

A - Cendres = 0,402.

A Re - Cendres = 0,457.

D - Cendres = 0,458.

E - Cendres = 0,397.

J - Cendres = 0,795.

K - Cendres = 0,659.

GF - Cendres = 0,490.

FF - Cendres = 0,524.

III Re - Cendres = 0,500.

1^{re} Claie rouge - Cendres = 0,511.

X - Cendres = 0,511.

1^{re} Claie rouge - Cendres = 0,514.

B2 - Cendres = 0,434.

4^{re} Conventioleur - Cendres = 0,500.

G - Cendres = 0,434.

8^{re} Conventioleur - Cendres = 0,550.

M - Cendres = 0,511.

9^{re} Conventioleur - Cendres = 0,550.

N - Cendres = 0,550.

9^{re} Conventioleur - Cendres = 0,550.

IV Br - Cendres = 0,518.

3^{re} Désagrégeur - Cendres = 1,111.

Z - Cendres = 1,111.

1^{re} Conventioleur - Cendres = 0,400.

C - Cendres = 0,400.

5^{re} Conventioleur - Cendres = 0,500.

H - Cendres = 0,500.

9^{re} Conventioleur - Cendres = 0,500.

N - Cendres = 0,550.

9^{re} Conventioleur - Cendres = 0,550.

N - Cendres = 0,550.

9^{re} Conventioleur - Cendres = 0,550.

Eau de pétrissage = 35 %

Alévrogrammes sur mélange de blés français

— Plasticité des différents passages de la mouture —

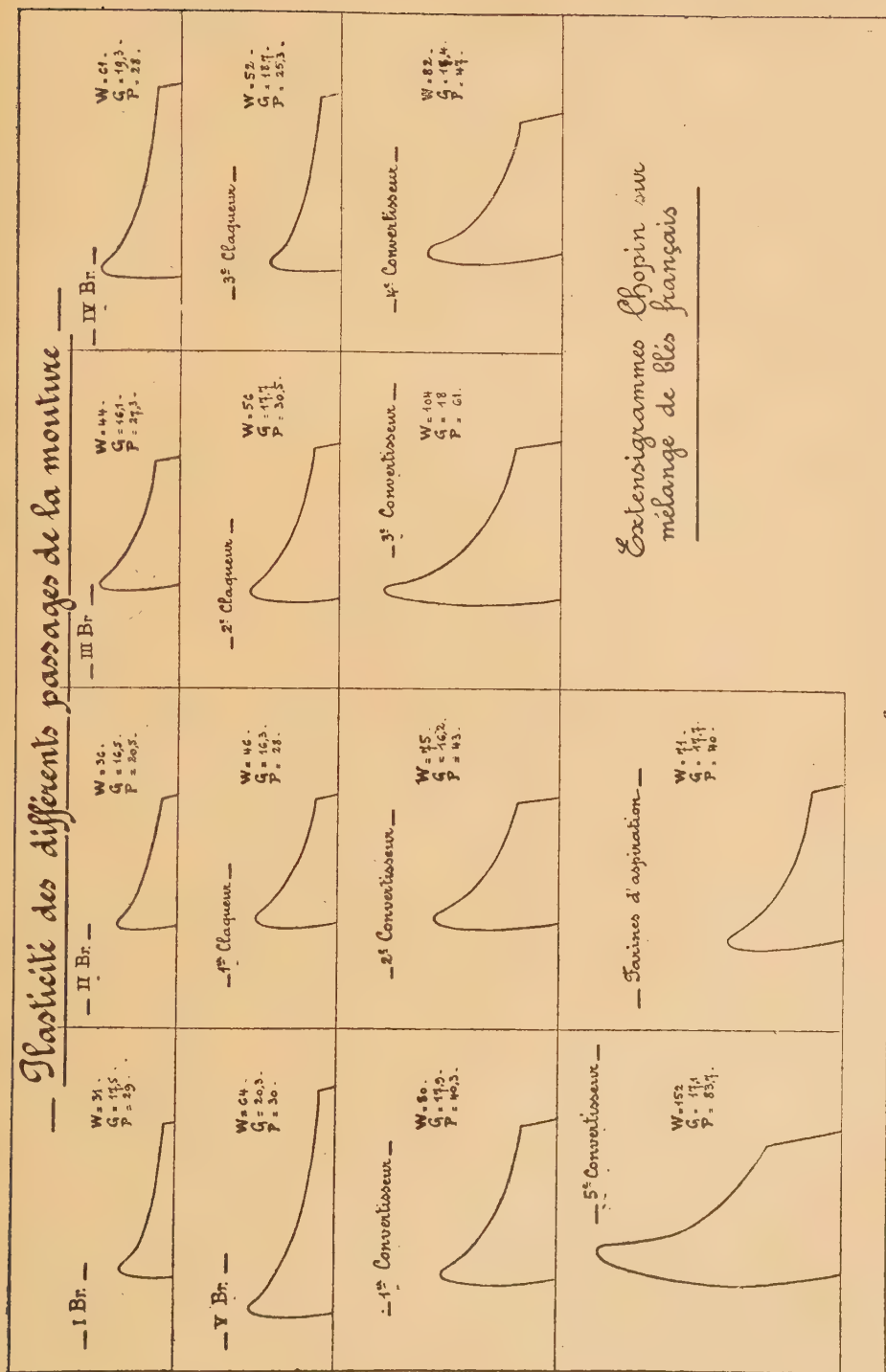


Fig. 24

Les claqueurs (A — B) donnent des farines médiocres, semblables à celles des I^o et II^o broyages.

Les III^o — IV^o et V^o broyages donnent des farines peu tenace, mais élastiques.

Sur les extensigrammes, nous observons de même la bonne qualité des premiers convertisseurs et le raccourcissement des graphiques correspondant aux derniers convertisseurs.

Evolution des qualités plastiques des farines pendant la fermentation panaire. — Il n'est possible, pratiquement, de suivre cette évolution qu'au moyen des aleurogrammes sur gluten.

On ne peut opérer sur la pâte elle-même, car l'attaque des ferments, outre qu'il la fait collante, la rend très hétérogène. D'autre part, la tenacité de la pâte est considérablement diminuée, les ordonnées des courbes sont trop réduites.

L'échantillon de pâte prélevé à l'intérieur de la masse de pâte en cours de fermentation dans la cuve du pétrin, ou à l'intérieur du pâton déjà tourné et poussant en bannetons, est lixivié et essayé suivant le mode opératoire courant.

Des aleurogrammes résultants, nous avons cru pouvoir tirer les conclusions suivantes :

— La tenacité va s'abaissant régulièrement, depuis le moment de formation de la pâte jusqu'à celui de la tourne, l'allongement va en augmentant légèrement (fig. 22).

— La tourne augmente la ténacité, sans diminuer sensiblement l'allongement.

— La tenacité continue à monter après la tourne, pour atteindre un maximum au bout d'un temps variant, suivant les farines, entre 30 minutes et 60 minutes, ou quelquefois plus, après la tourne.

— *Le pain le plus développé et, surtout celui à meilleure texture, est fourni par les pâtes enfournées au moment où leur courbe représentative de plasticité présente l'ordonnée maxima.*

— Si les courbes restent voisines de leur maxima pendant un temps assez long (courbes à enveloppe plate), le développement des pains reste aussi sensiblement identique.

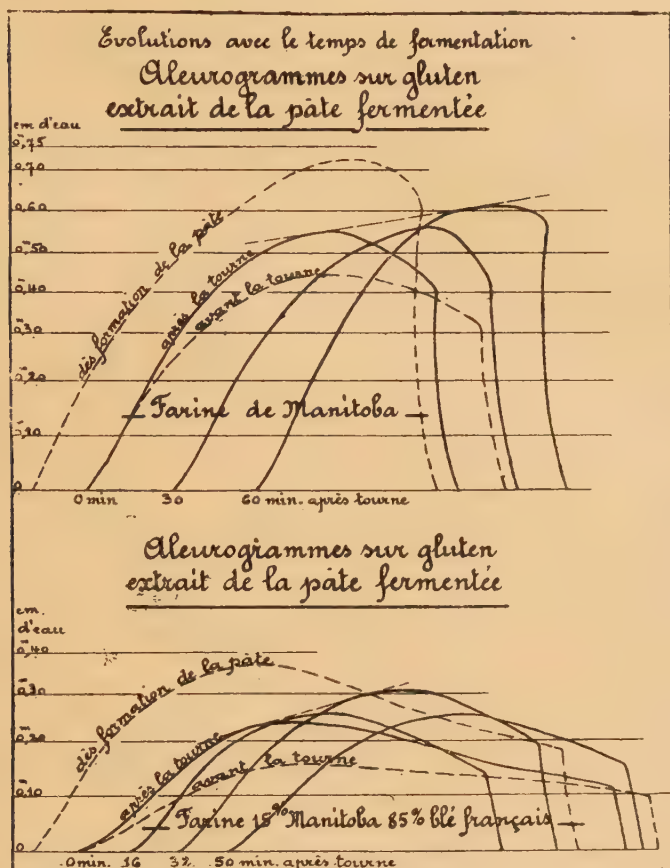


Fig. 22

Les variations du temps de pousse sont moins accusées par le développement du pain que par la texture de la mie. Notamment, des pâtes ayant dépassé leur maximum de plasticité, fournissent souvent des pains à développement presque identique. La mie, au contraire, traduit aussitôt l'excès de pousse par une structure caractéristique à petites alvéoles régulièrement réparties.

Il serait intéressant de pouvoir continuer à suivre l'évolution du gluten entre le moment de la mise au four et celui de la coagulation totale de la massé.

C'est pendant ce temps, relativement court, que doivent se succéder des phénomènes de haute importance, notamment la coagulation successive des différents groupes de protéines.

Il résulte des travaux de Boudroux que le gluten de la pâte fermentée ne se distinguerait en rien des glutens de la même pâte fraîche, si la fermentation est faite au moyen de levure pure.

On constate seulement une perte en poids d'environ 0,4 %, attribuée à la consommation par la levure.

Influence de l'intensité de la compression de la pâte pendant la tourne. — Nous avons fait quatre séries d'essais.

Essai N° 1 Pâton tourné sans compression.

— N° 2 — avec compression normale à la main.

— N° 3 — avec forte compression à la main.

— N° 4 — avec très forte compression par laminage.

Voici les résultats obtenus :

Forme	$\frac{\text{hauteur}}{\text{base}}$ en m/m.	
	du Pâton.	du Pain.
1	$\frac{33}{130}$	$\frac{73}{147}$
2	$\frac{33}{131}$	$\frac{75}{147}$
3	$\frac{35}{122}$	$\frac{62}{142}$
4	$\frac{36}{122}$	$\frac{66}{134}$

Par conséquent, la compression exercée sur la pâte pendant la tourne augmente la tenacité de la pâte aux dépens de l'élasticité. Le pâton est « raidi », il s'étale moins, conservant toute sa hauteur.

Le pain est d'autant plus serré et moins développé en hauteur que la compression a été plus forte. Un manque de compression, comme dans l'essai N° 1, donne cependant une mie grossière et mal alvéolée.

Variation des qualités plastiques de la pâte au cours de la fabrication des pâtes alimentaires. —

Les pâtes alimentaires sont fabriquées avec des farines ou mieux des semoules de blé dur pétries avec 28⁰/100 d'eau environ.

Les semoules ont l'avantage, en raison de leurs dimensions, de demander moins d'eau de pétrissage et, par conséquent, de donner des pâtes qui seront plus facilement séchées.

En outre, la densité de la pâte de semoule étant plus grande, le débit des machines est augmenté, tant par la diminution de volume que par le fait que les semoules donnent une pâte plus fluide, s'écoulant plus vite par les ouvertures des moules.

Par suite de cet écoulement plus facile, la pâte de semoule est plus lisse. Le calibre 35-45 est le plus employé.

Enfin, le goût du produit fabriqué diffère légèrement, suivant que l'on emploie des semoules et des farines.

Pour l'examen de la matière première, il est commode de faire une pâte ferme (30⁰/100 d'eau) qui est homogénéisée et mise sous forme de feuille par laminage.

Après cette série de laminages, on étale la lame de pâte sous une plaque de verre et on l'examine par réflexion et par transparence.

On remarque alors que les différentes semoules, suivant leur épuration, donnent des pâtes différant considérablement de teinte, allant depuis le blanc crayeux sale jusqu'au jaune clair très pur.

Ces teintes, extrêmement marquées à l'état cru, s'atténuent considérablement à la cuisson.

La matière première est d'abord pétrie avec l'eau, dans un mélangeur.

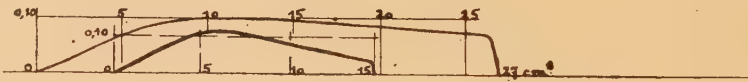
La pâte formée est alors malaxée, pendant 20 minutes environ, dans un pétrin exerçant sur la matière une pression énergique.

Variation de la plasticité de la pâte au cours de la fabrication industrielle de pâtes alimentaires

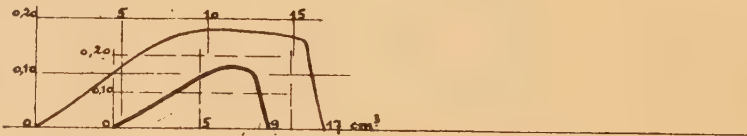
— Sortie de la Mélangeuse —



— Sortie du Pétrin —



— Sortie d'une Presse à Spaghettis —



— Sortie d'une Presse à Macaronis —

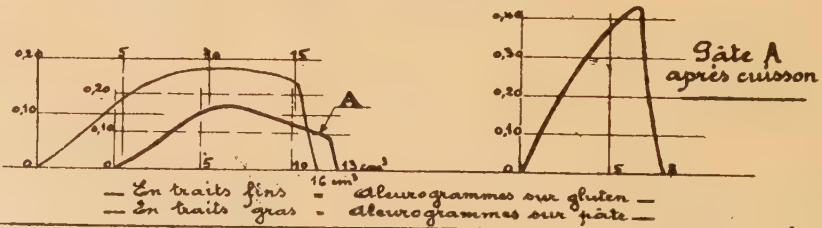


Fig. 23

Puis la pâte est introduite dans des pots de presses d'où, sous l'action de pistons ou de vis, elle est forcée à travers les ouvertures calibrées de moules, sous une pression de 200 à 300 kgs cm².

Nous avons prélevé des échantillons de pâte aux différents stades de la fabrication et, après en avoir formé des éprouvettes, nous avons enregistré les aleurogrammes correspondants sur pâte et sur gluten.

La fig. 23 met en évidence l'influence considérable que la pression exerce sur les qualités plastiques de la pâte (élévation de la tenacité, diminution de l'allongement).

En outre, si on lixive le gluten de la pâte pressée, on constate une diminution d'environ 25 % du poids du gluten sec obtenu.

Essai des qualités de résistance mécanique de la pâte cuite. — Les pâtes alimentaires sont consommées après un temps de cuisson d'environ 10 minutes dans l'eau bouillante.

A l'issue de ce temps de cuisson, elles doivent être non collantes et donner, à la mastication, une sensation de fermeté particulière.

Cette sensation de fermeté est due à ce que, mécaniquement, la pâte cuite a acquis une grande rigidité, jointe à une faible élasticité et a perdu toute plasticité.

En confectionnant, avant cuisson, avec la pâte à essayer, les éprouvettes calibrées employées à l'aleurographe, rien ne s'oppose, après dessiccation et cuisson, à ce que ces éprouvettes soient essayées à l'Aleurographe comme des éprouvettes de pâte crue.

On peut ainsi enregistrer la courbe de résistance mécanique des pâtes cuites, c'est-à-dire sous l'état même dans lequel elles seront consommées.

CONCLUSIONS

Dans l'étude que nous venons de présenter, nous avons précisé et concrétisé les idées suggérées par nos observations journalières au cours de nombreuses années de pratique industrielle.

Nous nous sommes efforcés de vérifier nos hypothèses et de dégager un certain nombre de lois par de nombreux essais réalisés au moyen d'appareils dont la plupart (Glutex, Aleurographe), ont été conçus et réalisés par nous.

Certains de ces appareils ont d'ailleurs été adoptés, par la suite, par quelques laboratoires de contrôle.

Nous avons également mis au point un certain nombre de modes opératoires pour la mesure des qualités plastiques des pâtes et nous avons créé une méthode pour la mesure des qualités mécaniques des pâtes fermentées et des pâtes alimentaires après cuisson.

Dans tous ces travaux, nous avons été dirigés par le souci de ne réaliser que des appareils qui, tout en étant suffisamment exacts, soient avant tout, d'un maniement facile et rapide, de façon à permettre la multiplication des essais.

Dans le contrôle d'une fabrication industrielle, le prélèvement d'un échantillon isolé, vraiment conforme en qualité à la moyenne du lot de blé ou de farine, est l'opération la plus entachée d'incertitude.

L'expérience nous a montré qu'il était bien préférable de multiplier les prises d'échantillons et de se baser sur la moyenne des résultats de nombreux essais rapides, que de s'attacher à déterminer, avec précision, la qualité d'un échantillon unique dont la conformité ne peut manquer d'être douteuse.

Dans ces conditions, voici les conclusions auxquelles nous ont amenés les résultats concordants d'un très grand nombre d'essais :

L'enregistrement des qualités plastiques (en particulier de la tenacité et de l'allongement) d'une pâte de farine est, actuellement, le procédé le meilleur pour l'appréciation rapide de l'aptitude à la panification d'une farine industrielle normale.

Quand la tenacité et l'allongement, traduits par les graphiques, restent dans les limites que l'expérience a démontré être convenables, la probabilité est très grande pour que les résultats à la panification soient satisfaisants.

Cet essai reste cependant utile, surtout s'il s'agit d'une farine non industrielle, par exemple celle provenant de la mouture d'essai d'une unique sorte de blé ou d'une farine à forte teneur en cendres trahissant une forte extraction.

Une caractéristique unique du graphique (en particulier sa surface) ne suffit pas à définir la qualité d'une farine. La tenacité et l'allongement sont les caractéristiques les plus essentielles, définissant le mieux la valeur boulangère.

L'examen direct du graphique lui-même, permettant d'apprécier les courbures, la régularité des essais successifs, la position du point d'éclatement, est toujours préférable.

Dans la mesure de la qualité d'un blé, la mouture du grain constitue une opération délicate, susceptible d'influencer grandement les qualités de la farine essayée. Les résultats annoncés par des opérateurs différents ne sont comparables que si l'appareillage utilisé (moulin et plansichters) et la méthode de mouture ont été soigneusement standardisés.

En tout cas, les qualités plastiques d'une farine provenant d'un même mélange de blés sont très différentes suivant que la farine provient d'une mouture d'essai ou d'une mouture industrielle, même à taux d'extraction égal.

La constance des résultats donnés par les appareils basés sur la mesure de la force prise par pétrissage (genre Brabender) est généralement satisfaisante.

Elle manque très souvent pour certains appareils à gonfle-

ment où la préparation de l'éprouvette est susceptible de varier avec l'opérateur.

De toute façon, un graphique ne peut être tenu pour définitif que s'il se reproduit au cours de plusieurs essais successifs, réalisés par des opérateurs différents.

De petites variations dans la quantité d'eau de pétrissage influencent fortement les caractéristiques de la pâte. Il semble en tous points préférable, dans les appareils à gonflement (Extensimètre, Aleurographe), de se rapprocher des conditions de la panification et d'essayer les pâtes à tenacité constante, la quantité d'eau de pétrissage variant avec la farine essayée.

Les résultats les plus réguliers sont obtenus quand la tenacité constante adoptée est suffisamment élevée (pâte à 40 % d'eau environ) et quand le diamètre de l'éprouvette est suffisamment réduit (30 m/m).

La connaissance en poids et en qualité du gluten, malgré sa nature artificielle et son hétérogénéité, reste toujours un excellent moyen d'appréciation de la qualité d'une farine.

Sa quantité en poids sec, qu'il est nécessaire de déterminer par extraction mécanique, est généralement inférieure de 1 % à celle des protéines de la farine dont il est extrait. Elle importe moins que sa valeur plastique.

Il importe cependant que poids et qualité ne descendent pas au-dessous d'une certaine limite, variable avec l'usage auquel la farine est destinée.

L'essai sur gluten, extrait mécaniquement, donne des résultats comparables à ceux obtenus sur la pâte ; les résultats sont moins réguliers.

Exécuté parallèlement à l'essai sur pâte, il permet de distinguer l'influence de la qualité du gluten de celle de sa quantité.

C'est le seul procédé pratique permettant de suivre l'évolution d'une pâte au cours de la fermentation.

Les appareils procédant par mesure de la puissance absorbée au pétrissage (Brabender-Swanson), sembleraient, à priori, préférables aux appareils procédant par gonflement.

Leurs graphiques, constitués par la réunion d'une multitude

d'essais successifs, ne donnent pas place à l'incertitude pouvant affecter les essais isolés réalisés par gonflement.

En outre, ils opèrent sur une pâte préparée dans les conditions mêmes de la panification.

Enfin et surtout, leur enregistrement continu permet de connaître la loi d'évolution de la tenacité de la pâte avec le temps de fermentation, point capital pour l'appréciation d'une farine.

En réalité, l'expérience montre que pour le Farinographe Brabender, seul, l'abaissement éventuel, au fur et à mesure de l'avancement du pétrissage, de l'ordonnée moyenne constante initiale (stabilité de la pâte) est vraiment en relation avec la valeur boulangère de la farine.

Pour une pâte de bonne qualité, l'ordonnée constante initiale sera acquise au bout de 3 minutes environ. Elle restera sensiblement constante pendant les 7 minutes suivantes.

Pour une pâte de mauvaise qualité, au contraire, on obtiendra plus rapidement une courbe présentant l'ordonnée constante initiale, mais cette courbe s'abaissera ensuite plus ou moins vite.

Une courbe prolongée résultant d'un essai poursuivi pendant plus de dix minutes, ne donne aucune indication supplémentaire.

Pour conclure, nous pensons donc que l'appareil idéal, pour la mesure de la plasticité d'une pâte, devrait réunir les conditions suivantes :

— Opérer sur une pâte se présentant dans les conditions mêmes de la panification, notamment en ce qui concerne l'hydratation et la fermentation.

— Opérer, si possible, sur la masse de pâte elle-même, sans passer par la formation préalable d'une éprouvette.

— Essayer la pâte par mesure de sa résistance en fonction de son allongement, par action sur des bulles ou des lames minces, c'est-à-dire se présentant sous la forme sous laquelle la pâte doit résister à l'effort de gonflement durant la fermentation.

— Réaliser des essais continus, c'est-à-dire composés d'une

série rapide d'essais successifs, de façon à éliminer le risque des irrégularités accidentelles pouvant affecter un essai instantané.

Ce sont ces conditions que nous nous sommes efforcés de réaliser dans un appareil nouvellement construit dont nous exposons le principe à l'Annexe 2.

ANNEXE I

Nous avons dû utiliser, dans notre travail, un certain nombre d'expressions empruntées à la technique meunière, expressions au sujet desquelles il n'est pas inutile de donner quelques explications.

Numérotation des tamis. — La séparation des produits de mouture, suivant leur calibre, a été opérée en utilisant les tamis de meunerie formés de fils de soie entre-croisés, de façon à constituer des mailles carrées régulières.

Les tamis numérotés de 18 à 90 sont appelés « gazes à bluter » leur numération est basée sur le nombre de fils au pouce français de 27 m/m.

Les tamis numérotés de 6 à 18 sont appelés « soies à farine », leur numération est arbitraire, l'indication XX, suivant la désignation de leur numéro, correspond à la grosseur du fil.

Compte tenu du nombre de mailles et de la grosseur du fil, voici la correspondance entre la numération et l'ouverture nette des mailles.

TABLEAU DONNANT LA CORRESPONDANCE

ENTRE	
LE N° DES GAZES FRANÇAISES	
LE N° DES SOIES A FARINE XX	
ET L'OUVERTURE NETTE DES MAILLES EN M/M	
N° des gazes françaises	Ouverture nette des mailles en m/m
18	1,15
20	
25	0,90
30	
35	0,75
40	0,53
50	
60	0,436
60	0,385
60	0,353
70	0,324
80	0,297

N° des soies à farine XX	Ouverture nette des mailles en m/m
7 XX	0,224
8 XX	0,208
9 XX	0,184
10 XX	0,160
11 XX	0,148
12 XX	0,142
13 XX	0,131
14 XX	0,115
15 XX	0,104
16 XX	0,098
17 XX	0,095
18 XX	0,090

Broyage. — C'est l'opération par laquelle le grain de blé entier ou ses fragments, triturés entre deux cylindres cannelés, animés de vitesse différente, sont divisés en fragments, plus petits.

L'écorce du grain, c'est-à-dire le son, assouplie au besoin par humidification préalable, doit être, pendant le broyage, aussi peu morcelée que possible, tandis que l'endosperme est fragmentée en éléments de grosseur variée dits « semoules ».

Convertissage. — C'est l'opération par laquelle les semoules, préalablement épurées, sont réduites en farine par écrasement ménagé entre des cylindres lisses.

Détachage. — Opération ayant pour but de briser les plaquettes formées pendant le convertissage.

Ces plaquettes sont dues à l'agglomération des particules farineuses les plus fines; elles se forment en quantités d'autant plus grandes que la pression des cylindres est plus grande et que la matière est plus humide.

ANNEXE II

Essais de réalisation d'un nouvel appareil de mesure de plasticité d'une pâte. — Comme conséquence de l'étude précédente, nous avons cherché à réaliser un appareil qui, tout en essayant la pâte par gonflement, sous forme de bulle :

1° permette d'opérer sur une pâte hydratée et même fermentée, dans les conditions mêmes de la panification.

2° rende inutile la formation préalable d'une éprouvette d'essai.

3° rende possible la réalisation d'une série d'essais successifs, à un moment quelconque de l'évolution de la pâte.

Une masse de pâte préalablement préparée dans un pétrin boulanger ordinaire est divisée en une série de pâtons (correspondant à 250 grammes de farine environ) qui sont placés dans des moules allongés.

La surface du pâton est couverte, de façon à conserver sa planéité et à éviter le croûtage.

Les moules sont alors abandonnés dans une chambre de fermentation à atmosphère saturée à température constante.

Pour réaliser un essai à un moment quelconque, on découvre un des moules et l'on applique, sur la pâte, un curseur percé d'une série d'ouvertures circulaires.

Une des parois latérales du moule porte une série de perforations dans lesquelles peut pénétrer une aiguille creuse, dont la pointe, perforant la pâte, s'arrête sur l'axe vertical passant par le centre de chacune des ouvertures du curseur (fig. 23).

Une lame de pâte d'épaisseur définie se trouve ainsi matérialisée, pour chaque ouverture du curseur, *sans manipulation préalable d'aucune sorte.*

On insuffle alors, dans la pâte, par l'aiguille creuse, l'air chassé d'un cylindre, par le mouvement régulier d'un piston comme dans l'Aleurographe par exemple ou par tout autre procédé.

Une bulle de dimensions correspondantes à l'ouverture du curseur se forme très régulièrement. On mesure ses caractéristiques et notamment sa pression de gonflement, en fonction du volume, par un manomètre enregistreur de la façon habituelle.

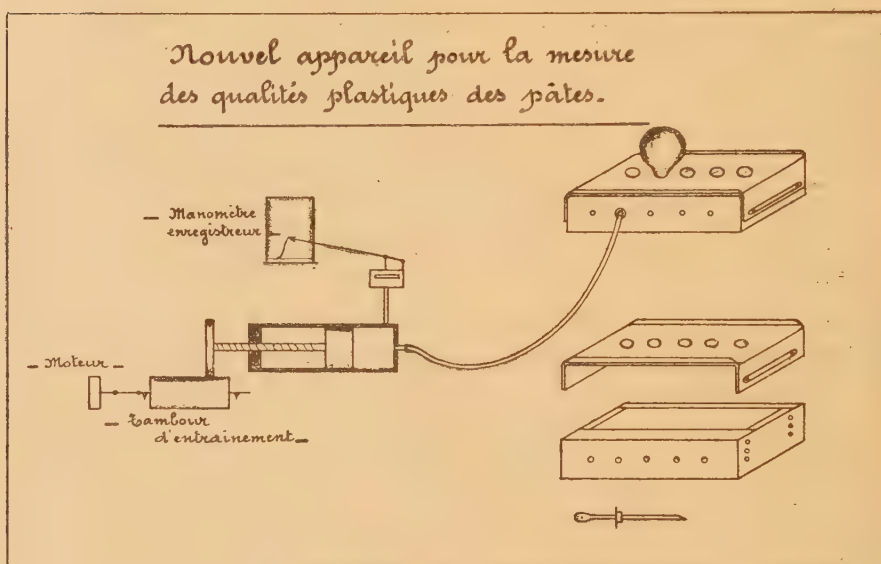


Fig. 24.

Les graphiques résultant, accusent une régularité remarquable au cours d'essais successifs.

Quand le pâton est essayé à un stade de fermentation avancé, il fait plus ou moins saillie au-dessus des bords du moule.

On supporte alors le curseur par un cadre amovible rehaussant le moule.

Dans ce cas la lame de pâte sous laquelle se fait l'insufflation n'est pas, en réalité, plus épaisse que dans les essais antérieurs, elle correspond toujours à la même épaisseur initiale de pâte fraîche.

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

- 1° L'Amidon, son origine, ses variétés chez les graminées.
- 2° Nature et rôle de l'eau retenue par les graines végétales.

Vu et approuvé

Paris, le 3 Janvier 1934.

Le Doyen de la Faculté des Sciences :

MAURAIN.

Vu et permis d'imprimer.

Le Recteur de l'Académie de Paris :

CHARLÉTY.

BIBLIOGRAPHIE

- ARPIN. — *Farines, Fécules et Amidon* (1913).
- BALLAND. — *Mémoires sur les farines* (1883-1914).
- BARY. — *Les Colloïdes* (1927).
- BAYLEY. — *Chemistry of Wheat and Flour* (1925).
- BRABENDER. — *Mehlprobleme* (1932).
- CHOPIN. — *Relation entre les propriétés mécaniques des pâtes de farines et la panification* (Compte-rendu Académie des Sciences, tome 172, p. 450, 21 février 1921).
- CHOPIN. — *Relation entre les propriétés mécaniques des pâtes de farine et la panification* (Bulletin Société Encouragement à l'Industrie Nationale, mars 1921).
- FLEURENT. — *Le Froment et sa Mouture* (1903).
- KENT JONES. — *Modern Cereal Chemistry* (1924).
- KOSUTANY. — *Der Ungarische Weizen und das Ungarische Mehl* (1907).
- LOEB. — *Phénomènes diastasiques dans les farines de froment* (1929).
- MAURIZIO. — *Nahrungsmittel aus Getreide* (1924).
- MOHS. — *Mehlchemie* (1931).
- M. T. PECAUD et ARPIN. — *Etude de la valeur boulangère des blés français* (1921-1927).
- M. T. PECAUD, ARPIN, PISANI-BORG. — *Etude de la valeur boulangère des blés français* (1927-1928).
- NEUMANN. — *Brotgetreide und Brot* (1929).
- PISANI-BORG. — *Méthodes de détermination des valeurs boulangères des blés et des farines* (Bulletin Société d'Hygiène Alimentaire. Vol. XIX, 1931, page 262).
- PISANI-BORG. — *Essai sur les propriétés mécaniques des pâtes (Appareils permettant de les mesurer)* (Meunerie Française, N° 491 1931).
- PISANI-BORG. — *Chimie et Technologie de la Meunerie* (Cours professé à l'Ecole Française de Meunerie) (1932).
- SWANSON et WORKING. — *Testing the quality of flour by the recording mixer* (Cereal Chemistry, janv. 1933. Vol. X).

- BARBADE. — *Note sur la détermination de la qualité physique du gluten* (Bulletin 16, Ecole Française de Meunerie. Juillet 1929).
- BARBADE. — *Note sur la détermination de la qualité physique du gluten* (Bulletin 22, Ecole Française de Meunerie. Juillet 1930).
- BARBADE. — *Détermination des qualités physiques du gluten et des pâtes de farine* (Bulletin 26, Ecole Française de Meunerie. Mars 1931).
- BARBADE. — *Etude sur la qualité des blés propres à la fabrication des pâtes alimentaires* (Annales des Falsifications 285-286. Sept-octobre 1932).
- BARBADE. — *Evolution des qualités plastiques du gluten pendant la fermentation* (Bulletin 30, Ecole Française de Meunerie. Juin 1932).
- BARBADE. — *Mesures des qualités plastiques des pâtes de farine et du gluten de ces pâtes* (Congrès International de Panification. Rome. Juillet 1932).
-

TABLE DES FIGURES

- 1 Graphiques représentatifs des qualités de résistance mécanique d'une pâte.
 - 2 Comparator de Buhler.
 - 3 Appareil de Hankoczy.
 - 4 Extensimètre Chopin.
 - 5 Aleurographe.
 - 6 Farinographe Brabender.
 - 7 Pétrin enregistreur de Swanson.
 - 8 } Comparaison des extensigrammes, aleurogrammes, farinogrammes,
 - 9 } obtenus sur diverses farines.
 - 10 Influence, sur les graphiques des caractéristiques des appareils et des éprouvettes.
 - 11 Graphiques représentatifs des qualités plastiques de la pâte et du gluten sur différentes farines, Eprouvettes correspondantes.
 - 12 Lixiviateur mécanique Glutex.
 - 13 Epuration du gluten en fonction du temps de lixiviation.
 - 14 Aleurogrammes type sur gluten correspondants à différentes sortes de blés.
 - 15 Influence de la qualité du mélange des blés sur la plasticité de la pâte.
 - 16 Influence du taux d'extraction sur la plasticité de la pâte.
 - 17 Influence du genre du moulin sur la plasticité de la pâte
 - 18 Formation de farines par le convertissage de semoules.
 - 19 Aspect des farines d'après leur granulation.
 - 20 Aleurogrammes des différents passages de la mouture.
 - 21 Extensigrammes des différents passages de la mouture.
 - 22 Evolution des qualités du gluten pendant la fermentation panair.
 - 23 Variation de la plasticité de la pâte au cours de la fabrication des pâtes alimentaires.
 - 24 Nouvel appareil de mesure de plasticité des pâtes.
-

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I

MESURE DES QUALITÉS PLASTIQUES DE LA PÂTE

Essais par traction, par emboutissage	17
Essais par gonflement. Extensimètre Chopin. Aleurographe	18
Différences dans le fonctionnement des différents appareils procédant par gonflement.	24
Essais par mesure de la force nécessaire au pétrissage. Farinographe. Brabender	25
Influence des caractéristiques des appareils et des dimensions des éprouvettes sur l'allure des graphiques	31
Maturation de la pâte	33
Hydratation de la pâte destinée au prélèvement des éprouvettes de mesure	35
Éprouvettes confectionnées avec une quantité d'eau constante	36
Éprouvettes présentant une tenacité constante	36
Mode opératoire pour la confection des éprouvettes destinées aux essais à l'Aleurographe	37
Examen des éprouvettes après essais	39

CHAPITRE II

LE GLUTEN. — SON OBTENTION. — SES QUALITÉS PHYSICO-PHYSIQUES. — SES CARACTÉRISTIQUES PLASTIQUES

Le gluten. Sa composition chimique	43
Obtention du gluten. Principe de la lixiviation	47
Extraction manuelle	49
Extraction mécanique	50
Mode opératoire pour l'obtention du gluten par lixiviation mécanique.	51
Microlixiviation	53
Essorage du gluten.	54
Hydratation du gluten.	55
Influences agissant sur l'hydratation	56
<i>a)</i> Espèce du blé ; <i>b)</i> Temps de repos du pâton avant lixiviation ; <i>c)</i> Température de l'eau de gonflement ; <i>d)</i> Quantité d'eau de pétrissage du pâton ; <i>e)</i> Qualité de l'eau ; <i>f)</i> Ancienneté de la farine	

Gonflement spécifique du gluten suivant Berliner et Koopman . . .	60
Influences entraînant une variation de la quantité de gluten sec. .	60
<i>a)</i> Poids du pâton ; <i>b)</i> Calibre des grains de farine ; <i>c)</i> Impuretés de la farine ; <i>d)</i> Teneur en sels de l'eau de lixiviation ; <i>e)</i> Température de l'eau de lixiviation ; <i>f)</i> Temps de repos du pâton ; <i>g)</i> Chauffage de la farine	
Examen du gluten sec.	63
Résistance mécanique du gluten.	67
Mode opératoire pour la détermination à l'Aleurographe des qualités plastiques du gluten.	70
Aleurogrammes correspondant à des glutens provenant de diffé- rentes sortes de blés.	70
Glutens coriaces. Glutens mous	72
Aleurogrammes de glutens provenant de farines extraites à des taux d'extractions différentes	74
Influence modifiant les qualités mécaniques du gluten.	74
Amidon de blé	74
Influence sur les graphiques des différences de constitution des éprouvettes de pâte et de gluten	76
Différences pratiques dans l'exécution des essais sur pâte et sur gluten.	78

CHAPITRE III

RELATION ENTRE LES QUALITÉS PLASTIQUES DES PÂTES & DES GLUTENS ET LEUR APTITUDE A LA PANIFICATION

Modes d'appréciation d'un pain	80
Fermentation artificielle et naturelle	81
Travail direct. Travail indirect. Travail sur levain	82
Processus du travail direct, Pétrissage et première fermentation. .	84
Tourne et pointage.	86
Cuisson	86
Caractéristiques du pain dépendant des qualités plastiques de la pâte.	88
Résultats d'essais donnant les relations entre les graphiques et les résultats de la panification.	88
Corrections à apporter dans les comparaisons de graphiques, du fait du taux d'extraction	97
Différences essentielles entre les moutures industrielles et les mou- tures de laboratoire	97
Relation entre les caractéristiques des graphiques et la qualité du pain.	102
Choix des caractéristiques des graphiques, les plus représentatives de l'aptitude de la pâte à la panification	105

CHAPITRE IV

MODIFICATION DES QUALITÉS PLASTIQUES D'UNE PÂTE
PAR DES PROCÉDES MÉCANIQUES ET PHYSIQUES

Influence du calibre des grains de farine	107
Formation des farines par granulation de semoules	108
Résistances des semoules à l'écrasement	113
Qualités plastiques correspondant à différentes granulations	114
Essais de panification sur farines de différentes granulations	115
Essais de panification sur différentes granulations d'une même semoule	117
Différence de qualités entre les farines issues des différents tamis de plansichters	121
Influence de la chaleur et de l'humidité sur la formation de la granulation	121
Influence sur la plasticité, du chauffage à l'air libre des farines	124
Qualités plastiques des farines de chacun des passages d'une mouture	125
Evolution des qualités plastiques des farines pendant la fermentation panaire	128
Variation des qualités plastiques de la pâte au cours de la fabrication industrielle des pâtes alimentaires	131
Conclusions	134
Annexe I.	139
Annexe II	141
Bibliographie.	145
Table des figures	147
Table des matières.	149

